

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом на
основі IoT

Виконав: студент VI курсу, групи КТм-61

174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані
спеціальності технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Дудирев Д.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Станько А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Левицький В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Шовкун О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Дудиреву Дмитру Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом на основі IoT

Керівник роботи Станько Андрій Андрійович, доктор філософії, ст.викладач кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» листопада 2024 року № 4/7-1030

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про інтелектуальні системи керування Дорожнім рухом, алгоритми роботи систем, інтерфейси та математичні передумови систем.

4. Зміст роботи

Вступ. 1 Аналітична частина, 1.1 Постановка задачі для розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом, 1.2 Огляд відомих технічних рішень, 2 Технологічна частина 3 Конструкторська частина, 3.1 Побудова мережі та управління трафіком за допомогою ІСДС, 3.2 Інтерфейс управління дорожнім рухом, 3.3 Реалізація системи, 4 Науково дослідницька частина, 4.1 Математичні передумови, 4.2 Запропоновані алгоритми, 5 Спеціальна частина, 5.1 Аналіз результатів експериментів, 5.2 Симуляція 1, 5.3 Симуляція 2 5.4 Симуляція 3, 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, 6.1 Питання щодо охорони праці, 6.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях, Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження. 4 Актуальність дослідження. 5 Дослідження підходів ІСДС на основі різних ознак. 6 Схема побудови системи. 7 Базовий блок середовища ІСДС. 8 Перетворення файлу через Netconvert. 9. Представлення вузлів, шляхів та перетинів. 10 Фази моделювання 11 Порівняльні графіки між ІСДС та ПСС. 12 Графік в умовах середньої щільності. 13 Графік в умовах середньої щільності. 14 Висновки. 15 Завершальний

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц. Тотосько О.В.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	29.11.2024	Виконано
2.	Підбір джерел про системи моніторингу	30.11.2024-01.12.2024	Виконано
3.	Вибір компонентної бази	02.12.2024-03.12.2024	Виконано
4.	Виконання дослідження алгоритмів проектування ІСДС	04.12.2024-05.12.2024	Виконано
5.	Переклад та опрацювання джерел	06.12.2024-07.12.2024	Виконано
6.	Розроблення прототипу терміналу	08.12.2024-09.12.2024	Виконано
7.	Розроблення панелі керування системи	10.12.2024-11.12.2024	Виконано
8.	Оформлення розділу «Аналітична частина»	12.12.2024-13.12.2024	Виконано
9.	Оформлення розділу «Конструкторська частина»	13.12.2024-14.12.2024	Виконано
10.	Оформлення розділу «Науково дослідна частина»	14.12.2024-15.12.2024	Виконано
11.	Оформлення розділу «Технологічна частина»	15.12.2024-16.12.2024	Виконано
12.	Оформлення розділу «Спеціальна частина»	16.12.2024-17.12.2024	Виконано
13.	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в НС»	17.12.2024-18.12.2024	Виконано
14.	Підготовка графічного матеріалу	18.12.2024-19.12.2024	Виконано
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	19.12.2024-20.12.2024	Виконано
16.	Нормоконтроль	20.12.2024-21.12.2024	Виконано
17.	Перевірка на плагіат	21.12.2024	Виконано
18.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	22.12.2024	Виконано
19.	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.2024	

Студент

(підпис)

Дудирев Д.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Станько А.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом на основі IoT
// Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Дудирев Дмитро
Юрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана
Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії,
кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, група КТм-61
// Тернопіль, 2024 // С. 66, рис. – 17, табл. – 4, кресл. – 15, додат. – 8, бібліогр. –
37.

Ключові слова: інтелектуальний трафік, інтелектуальна система
дорожніх сигналів, симуляція міської мобільності, інтернет речей, давачі.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці інтелектуальної системи
керування дорожнім рухом на основі IoT.

В першому розділі кваліфікаційної роботи описані відомі технічні
рішення та постановка задачі.

В другому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто принципові схеми
роботи системи на основі машинного навчання.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи вибрано та проаналізовано
компоненти системи, представлено технологічні рішення.

В четвертому розділі описано математичні передумови системи, а також
запропоновані оптимізовані алгоритми.

В п'ятому розділі висвітлено ряд симуляції реалістичної моделі трафіку
інтелектуальної системи керування дорожнім рухом.

В шостому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто забезпечення
безпечної роботи з обладнанням.

Об'єкт дослідження: інтелектуальна система керування дорожнім рухом
із застосуванням систем дорожніх сигналів, заснованих на технологіях IoT.
Предмет дослідження: методи, підходи та технологічні рішення
інтелектуального керування світлофорними системами в режимі реального
часу.

ANNOTATION

Development of an intelligent traffic control system based on IoT // The educational level "Master" qualification work // Dudyrev Dmytro Yuriiovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Computer-Integrated Technologies, KTm-61 group // Ternopil, 2024 // P. 66, fig. - 17, tables - 4, chair. - 15, annexes - 8, ref. - 37.

Key words: intelligent traffic, intelligent traffic signal system, simulated urban mobility, internet of things, sensors.

The qualification work is devoted to the development of an intelligent traffic control system based on IoT.

The first chapter of the qualification work describes known technical solutions and problem statement.

The second section of the qualification work describes the basic schemes of the system based on machine learning.

The third section of the qualification work selects and analyzes the system components and presents technological solutions.

The fourth section describes the mathematical background of the system and proposes optimized algorithms.

The fifth section highlights a number of simulations of a realistic traffic model of an intelligent traffic management system.

The sixth chapter of the qualification work deals with ensuring safe operation of the equipment.

Object of research: intelligent traffic management system with the use of traffic signal systems based on IoT technologies.

Subject of research: methods, approaches and technological solutions for intelligent control of traffic signal systems in real time.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ШІ – Штучний інтелект.

MCU (англ. Microcontroller Unit) – мікроконтролер, однокристальний мікрокомп'ютер.

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

SUMO (англ. Simulation of Urban MObility) – симуляція міської мобільності.

ITSS (англ. intelligent traffic signaling system) – інтелектуальна система дорожніх сигналів.

PTLS (англ. Piezo based Traffic Light System) – п'єзOMETрична світлофорна система

XML (англ. EXtensible Markup Language) – Розширювана мова розмітки

LIDAR (англ. Light Identification, Detection and Ranging) – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем.

WSN (англ. wireless sensor networks) – Бездротова сенсорна мережа

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Постановка задачі для розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом.....	9
1.2 Огляд відомих технічних рішень.....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	19
3.1 Побудова мережі та управління трафіком за допомогою ІСДС.....	19
3.2 Інтерфейс управління дорожнім рухом	20
3.3 Реалізація системи.....	23
4 НАУКОВО ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	25
4.1 Математичні передумови	25
4.2 Запропоновані алгоритми.....	28
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	31
5.1 Аналіз результатів експериментів	31
5.2 Симуляція 1	32
5.3 Симуляція 2.....	35
5.4 Симуляція 3	38
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	41
6.1 Питання щодо охорони праці.....	41
6.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях	45
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	50
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Останнім часом спостерігається різке зростання кількості автомобілів у містах багатьох країн. Кількість транспортних засобів стрімко зростає, а за наявної інфраструктури транспортні системи не можуть працювати в години пік. Одними з основних проблем управління дорожнім рухом є рух перевантажених транспортних засобів поза межами забороненої зони та часу, необачне водіння та нехтування правилами безпеки дорожнього руху. У цій роботі пропонується інтелектуальна система дорожніх сигналів (ITSS) (ІСДС) на основі Інтернету речей (IoT) в режимі реального часу, яка складається з індуктивних контурів і програмованого мікроконтролера для визначення щільності руху. Взаємозв'язок в централізованому блоці управління встановлює таймер світлофора і синхронізується з щільністю руху в режимі реального часу для безперешкодного руху транспортних засобів з меншими затримками. Крім того, для надання пріоритету автомобілям екстрених служб перед іншими транспортними засобами на тій же смузі, інтегрований механізм переважного проїзду за допомогою інфрачервоних датчиків. Результат щільності руху визначає таймер світлофора в режимі реального часу, що в результаті покращує безперебійний потік транспортних засобів зі зменшеною затримкою для мандрівників. Завдяки автоматичній системі світлофорної сигналізації на вимогу, представлене рішення має переваги над стаціонарними системами.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є розробка та впровадження інноваційної автоматизованої інтелектуальної системи дорожніх сигналів (ІСДС) на основі технологій Інтернету речей (IoT). Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати сучасні методи управління дорожнім рухом та підходи до керування світлофорними системами у міських умовах.
- Дослідити можливості застосування індукційних петель та IoT-технологій для визначення щільності дорожнього руху в режимі реального часу.

- Моделювати роботу ІСДС у середовищі імітаційного моделювання (SUMO) для оцінки її ефективності за різних сценаріїв дорожнього руху.
- Оцінити вплив застосування ІСДС на зменшення заторів, час очікування та пропускну здатність транспортних мереж, а також можливість інтеграції механізмів пріоритету для екстрених служб.
- Оптимізувати систему за допомогою методів машинного навчання та врахування поведінкових факторів водіїв, розширюючи застосування ІСДС у складних та багатосмугових умовах.

Об’єкт дослідження процеси управління міськими транспортними потоками, зокрема регулювання світлофорної сигналізації на перехрестях із застосуванням інтелектуальних систем дорожніх сигналів (ІСДС), заснованих на технологіях Інтернету речей.

Предмет дослідження методи, підходи та технологічні рішення інтелектуального керування світлофорними системами в режимі реального часу із застосуванням Інтернету речей, індукційних петель та програмованих мікроконтролерів для динамічної адаптації тривалості світлофорних сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що отримав подальший розвиток та вдосконалення інтелектуальної системи дорожньої сигналізації, яка динамічно адаптує тривалість світлофорних сигналів у режимі реального часу, базуючись на даних з індукційних петель та технологій IoT.

Практичне значення одержаних результатів. полягає в можливості безпосереднього впровадження розробленої інтелектуальної системи ІСДС у реальні міські транспортні мережі з метою підвищення ефективності керування дорожнім рухом. Отримані результати сприяють: зниженню заторів за рахунок динамічної адаптації тривалості світлофорних сигналів відповідно до реальної щільності транспортного потоку; зменшенню часу очікування транспортних засобів, що безпосередньо впливає на скорочення витрат палива, підвищення зручності для водіїв і пасажирів та покращення загальної мобільності міського населення; оптимізації роботи екстрених служб, забезпечуючи їхній пріоритетний проїзд і тим самим підвищуючи оперативність реагування на

надзвичайні ситуації; можливості масштабування та інтеграції із сучасними технологіями Інтернету речей, машинного навчання та мікроскопічного моделювання, що дозволяє адаптувати систему до різних умов, інфраструктур та сценаріїв дорожнього руху..

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2024 р.).

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у конференції (Див. додаток А).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, шістьох розділів, висновків, списку літератури з 37 найменувань та 8 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 66 сторінки, з них 53 сторінки основного тексту, який містить 17 рисунків та 4 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Постановка задачі для розроблення інтелектуальної системи керування дорожнім рухом

У зв'язку зі зростанням кількості населення та промисловості в містах, управління дорожнім рухом стало складним завданням для багатьох міст світу [1]. Оскільки все більше людей їздять на роботу і навпаки, в межах або через свої міста, багато міст страждають від проблем заторів, і ця проблема продовжує зростати. Існує багато факторів, що спричиняють затори в містах [2]. Затори можна охарактеризувати як періодичні або одноразові. Повторювані затори виникають щодня, і основною причиною є надмірна кількість транспортних засобів, зазвичай у години пік, тоді як одноразові затори виникають через непередбачувані події (такі як погода, робочі зони, інциденти, страйки та спеціальні заходи) [3]. Це свідчить про те, що затримки в русі транспортних засобів пов'язані з кількома проблемами, однією з яких є неналежне управління світлофорними системами [4].

Через неправильне управління ситуацією виникають такі проблеми, як затори, порушення правил та довгий час очікування транспортних засобів, про які йдеться в [5], що призводить до втрат грошей, часу та палива. Динамічна система управління дорожнім рухом може бути спроектована, розроблена і використана для ефективного регулювання дорожнього руху та уникнення таких проблем.

Інтелект і автоматизація можуть бути застосовані під час проектування системи для підвищення пропускної здатності транспортних засобів, які безпечно проїжджають через кожну дорогу і перехрестя. У літературі пропонуються передові та інтегровані рішення для світлофорних об'єктів та управління ними. Наприклад, автори в [6] представили інтелектуальну систему відеоспостереження за дорожнім рухом і виявлення ДТП, яка використовує розширені методи машинного навчання (машини опорних векторів, об'єднані з фільтром Калмана) для відстеження транспортних засобів. Інтегрована система

світлофорів/контролю враховує такі компоненти дорожнього руху, як водії, пішоходи та транспортні засоби. Потенційне рішення повинно розглядати дорожню систему в цілому, щоб уникнути заторів і запобігти небезпечним ситуаціям на перехрестях, а також керувати прибуттям екстрених транспортних засобів, таких як пожежні бригади і швидка допомога. Згідно з [7], система світлофорів повинна бути надійною, щоб не вимагати втручання людини з будь-якого боку смуг руху для визначення маршруту транспортного засобу. Використання світлофорів і рух транспортних засобів можуть бути взаємопов'язані, щоб знайти правильне рішення для безперебійного управління системами світлофорних об'єктів.

У традиційній системі світлофорної сигналізації фіксований розподіл часових інтервалів для перемикання світлофорів може створити багато проблем при регулюванні різних типів транспортних засобів [8], оскільки вона не підтримує моніторинг дорожнього руху в режимі реального часу. Світлофорні системи з фіксованими затримками можуть створювати великі затори та витрачати час і енергію транспортних засобів, які очікують своєї черги, навіть якщо з іншого кінця дороги не проїжджають інші транспортні засоби [9]. Більшість існуючих систем світлофорного регулювання не враховують аварії, дорожні роботи та несправності автомобілів, які призводять до заторів і ще більше погіршують умови руху [10].

1.2 Огляд відомих технічних рішень

Розглядаючи різні питання моніторингу дорожнього руху, цей розділ містить короткий огляд різних підходів з акцентом на технологіях, що використовуються для вирішення відповідних проблем. Були запропоновані різні підходи до моніторингу дорожнього руху з використанням інфрачервоних давачів, давачів на магнітній петлі, LIDAR (Light Detection And Ranging), обробки зображень, обробки відео, п'єзопристроїв, світлозалежних резисторів (LDR-давачів) та інших типів давачів [14]. У цьому розділі описано сучасний стан інтелектуальних систем керування дорожнім рухом шляхом деталізації

різних підходів, які були використані з їхніми обмеженнями. Кожен підхід було проаналізовано з урахуванням таких факторів, як адаптивність, масштабованість і можливість управління в режимі реального часу.

У роботі [15] автори пояснюють ідею керування транспортним потоком за допомогою інфрачервоних давачів, встановлених на дорожніх розділювачах для виявлення транспортних засобів, на прикладі розумної системи керування дорожнім рухом. Цей підхід використовує три режими освітлення перехідних щілин: нормальний режим, режим заторів і режим м'якого руху. Відстежуючи щільність руху за допомогою інфрачервоних давачів, перехідні прорізи можуть бути відповідно адаптовані. Ця система також забезпечує рішення для управління аварійними автомобілями, що застрягли, збільшуючи часовий інтервал зеленого світла після виявлення такого випадку за допомогою інфрачервоного давача. Зокрема, система включає в себе портативний контролер для аварійних автомобілів, що застрягли в заторі. Використовуючи бездротову систему XBee, портативний контролер може перевести головний контролер в аварійний режим, доки автомобіль екстреної допомоги не проїде перехрестя.

У роботі [16] показано, що, використовуючи механізми управління дорожнім рухом на основі відеоспостереження, камери на перехрестях можуть бути використані для запису відео в реальному часі, на якому виконуються операції диференціації фону та морфологічні операції для виявлення та ідентифікації транспортних засобів. Ця система також обробляє кілька сигналів від різних давачів для вимірювання кількох маневрів, таких як швидкість зміни швидкості, кількість обертів керма та кут повороту керма. Однак у процесі виявлення транспортних засобів у цій системі було виявлено, що вона пропускала менші транспортні засоби, якщо вони знаходилися позаду більших. У роботі [17] автори вивчили багато статей, в яких пропонувалися різні методології інтелектуальних систем дорожнього руху в розумних містах. Вони запропонували інтелектуальну транспортну систему (ІТС) на основі Інтернету речей для типового міста на індійському субконтиненті (Ченнаї). Ця ІТС обробляє дані з декількох давачів і застосовує різні методи аналізу великих

даних (такі як логістична регресія, множинний регресійний аналіз і кластерний аналіз) для відстеження місцезнаходження транспортних засобів, моніторингу руху транспортних засобів і визначення щільності дорожнього руху.

В іншій роботі запропоновано хмаро орієнтовану систему на основі Інтернету речей для прогнозування транспортних потоків та оптимізованого за часом руху транспортних засобів [18]. Ця система складається з трьох компонентів, а саме: користувача, хмари та дії. У користувацькому компоненті платформа Інтернету речей відповідає за збір даних про мобільність транспортних засобів. Хмарний компонент забезпечує зберігання та обчислювальну потужність для зберігання зібраних даних. Компонент дій виконує всю аналітику даних і відображає результати аналізу різним зацікавленим сторонам у підсистемі користувача. Система здійснює прогнозування транспортного потоку та інтелектуальну навігацію транспортних засобів, щоб уникнути довгих черг та заторів на перехрестях. Прогнозування транспортного потоку та статистичних підтверджень здійснюється за допомогою базового класифікатора. Технологія світлодіодів для світлофора, яка може бути вдосконалена, якщо світловий код транспортного засобу може бути визначений за допомогою давача, була використана в роботі [19]. Для аварійних транспортних засобів послідовності сигналів використовуються для якнайшвидшого вибору зеленого світла відповідної смуги. Автоматизовані часові інтервали використовуються для операцій увімкнення та вимкнення, що може створювати "голод" під час обробки одного і того ж світлового коду кількома транспортними засобами.

У роботі [20] для визначення довжини та послідовності сигналів світлофора, що використовуються для управління дорожнім рухом, шляхом створення сенсорної мережі, були використані магнітні петлі. Ця система має на меті виявити транспортний засіб і подати сигнал зеленого світла за допомогою петлевого детектора і пріоритизації транспортного засобу, а також механізму поєднання VANet з хмарним сховищем і надання збалансованого доступу до мережевих ресурсів усім транспортним засобам, а також для підтримки прийняття рішень. Вони використали Інтернет транспортних засобів

(IoV), щоб полегшити безпеку під час спілкування в режимі реального часу. Система унікально розпізнає транспортні засоби, застосовуючи методи розпізнавання образів під час спілкування за допомогою IoV. Ця система реалізувала процедуру зіставлення шаблонів для виявлення та класифікації транспортних засобів на основі методу класифікації на основі дерева рішень. В [21,22] представлені мобільні додатки, які можуть надсилати автоматичні сповіщення водіям про точне місце аварії або можливий затор на найближчій транспортній розв'язці, щоб зменшити затори на дорогах.

Підхід, представлений в [23], реалізує хмарну мережу VANET (Vehicular Ad Hoc NETwork), де транспортні засоби в мережі можуть спільно використовувати мережеві ресурси та збирати інформацію для прийняття рішень. Система управління додатками IoV на хмарній VANET використовується для інтелектуального та динамічного управління дорожнім рухом, що полегшує виявлення доступних транспортних засобів в режимі реального часу, а також враховує затори, дорожні роботи, аварії тощо. Підхід, представлений в [24], обговорює реалізацію трьох різних сенсорних блоків, розділених на два класи давачів. Цей підхід приймає вхідні дані за допомогою інфрачервоної камери, а також послідовності давачів LIDAR (Light Detection And Ranging). На виході ця система надає різні звіти, такі як кількість транспортних засобів, що проїхали, середня швидкість транспортних засобів та класифікація транспортних засобів на основі їх розміру. Кожен давач використовує різні механізми, щоб забезпечити кращий сервіс для моніторингу дорожнього руху, коли кілька транспортних засобів паралельно проїжджають через перехрестя, але в режимі реального часу як вартість експлуатації цієї системи, так і вартість її обслуговування можуть бути високими.

Крім того, дослідники застосовують метаввристичні методи для оптимізації синхронізації сигналів як одне з практичних рішень для підвищення продуктивності транспортних мереж [25]. У роботі [26] представлено комплексний огляд методів та інструментів, що використовуються для оптимізації сигналів у транспортних мережах. Інше дослідження спрямоване на розробку багатоцільового інтелектуального протоколу управління дорожнім

рухом на основі генетичного алгоритму сортування з недомінуванням II (NSGA-II) на ізольованих сигнальних перехрестях у місті Дахран, Королівство Саудівська Аравія [27]. Нова багатоцільова модель оптимізації синхронізації сигналів з цілями затримки на душу населення, викидів транспортних засобів та пропускної здатності перехрестя була запропонована в [28], де було розроблено метаевристичний алгоритм, що поєднує різницевий оператор, який базується на алгоритмі оптимізації рою частинок.

У сфері управління дорожнім рухом застосовується кілька інтелектуальних обчислювальних технологій, але лише деякі з них покладаються на надійні обчислювальні системи або великі обсяги попередньо розрахованих даних. Хоча системи управління працюють з використанням простих і локально обізнаних агентів, і більшість з цих робіт спираються на технології, які доступні в даний час, інші системи планують майбутній технологічний прогрес, включаючи теоретичні вимоги. У таблиці 1 представлено та порівняно інтелектуальні системи керування дорожнім рухом з їхніми перевагами та недоліками.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Різні технологічні стеки можуть бути використані для розробки ефективного рішення для сучасної світлофорної сигналізації в містах. Дотримуючись принципів, представлених в [29], інтелектуальні механізми світлофорів, бездротові давачі та технології Інтернету речей можуть бути вбудовані в дизайн сучасної ІСДС. Різні компоненти та їх використання при проектуванні ІСДС призводять до формулювання рішення для міської системи моніторингу дорожнього руху. У запропонованому підході світлофори, що використовуються для регулювання дорожнього руху, працюють у трьох режимах, як і в більшості існуючих систем управління дорожнім рухом. Світлофори адаптуються відповідно до різниці в щільності руху. Рух транспортних засобів можна визначити за допомогою давача-петлі, встановленого під поверхнею дороги. Петля складається з котушки з кількома витками для виявлення тиску транспортного засобу. Вона має прямокутну форму з шириною шість футів, довжина якої змінюється в залежності від проекту застосування. Її можна розмістити приблизно на два дюйми нижче поверхні вулиці, що, в свою чергу, утворює індуктивну частину паралельно налаштованого контуру для генерування магнітного поля. Як пропонується в [30], коли транспортні засоби в'їжджають, їх можна виявити за зміною значення індуктивності в магнітному полі контуру.

Намагаючись передбачити можливі майбутні масштаби та усунути недоліки існуючого моніторингу світлофорів, автори в [31] запропонували використовувати Simulation of Urban MObility (SUMO). При цьому середовище може бути задане шляхом деталізації транспортного засобу за допомогою моделі, маршруту, стану транспортного засобу та зміни смуги руху. На основі характеристик SUMO для моделювання обираються деталі щодо управління мережею, використовуваних пристроїв та налаштування перехресть, в результаті чого визначаються краї, нумерація смуг, зв'язок між пристроями, положення індукційної петлі та інтелектуальне управління за допомогою логіки сигнальних планів. Індукційна петля, яка була використана для розробки

запропонованої системи, була інтегрована в сигнальну шафу і може бути використана для передачі струму в інтервалі між 10 і 200 КГц. Магнітне поле генерується, як показано на Рисунку 2.1. Індуктивність, що генерується при цьому, обернено пропорційна довжині петлі і залежить від товщини дроту. Після кожного автомобіля, що проїжджає над давачем, вага генерує струм у дроті петлі, який зменшує індуктивність і відповідає за зміну частоти коливань [32].

Під час проектування ІСДС було враховано чутливість контуру, оскільки на результати роботи системи впливають невеликі зміни індуктивності на клеммах детектора. Для налаштування середовища було змодельовано транспортну розв'язку з чотирма різними вузлами, а саме: північним, південним, східним та західним. Кожен вузол складається з двох смуг, одна для в'їзду і одна для виїзду. Таким чином, системне середовище складається з восьми різних смуг руху. Напрямок кожної смуги разом з відповідним напрямком руху транспортного засобу показано на Рисунку 2.2. До кожного вузла була прикріплена одна індукційна петля для виявлення потоку транспортних засобів. Було визначено, що індукційна петля встановлюється на відстані 100 м від перехрестя для смуг, що в'їжджають, тоді як для смуг, що виїжджають, вона розміщується безпосередньо перед початком перехрестя. На кожній смузі, що має п'ять метрів завширшки, дозволено рух одного транспортного засобу.

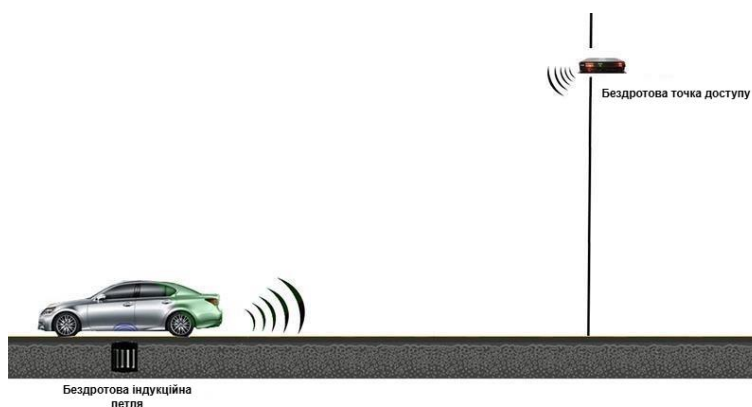


Рисунок 2.1 – Бездротова індукційна петля, з'єднана з бездротовою точкою доступу

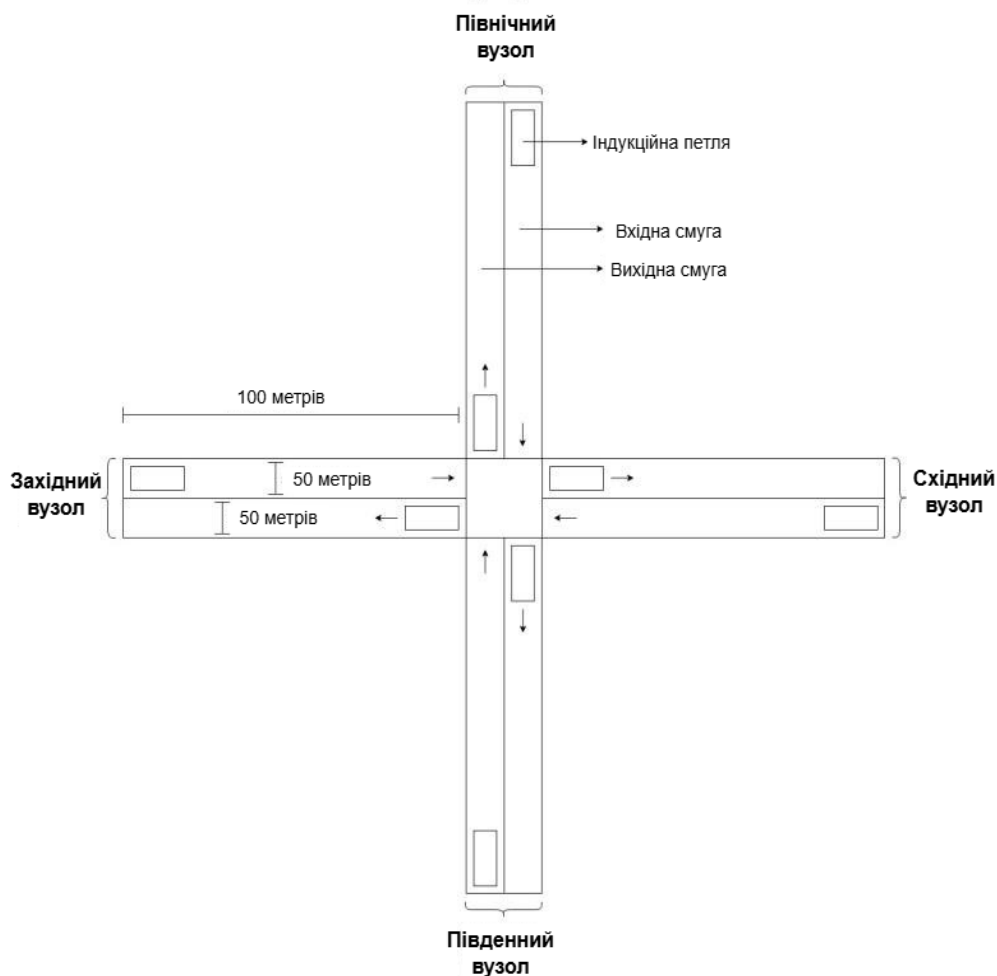


Рисунок 2.2 – Базовий блок середовища ІСДС

Дві бездротові точки доступу встановлюються на кожному напрямку дороги, щоб забезпечити зв'язок між кожною індукційною петлею та комутатором бездротового сигналу. Коли індукційна петля виявляє транспортний засіб, дані про нього передаються бездротовим зв'язком до центру обробки даних системи. Різні бездротові пристрої, такі як бездротові точки доступу, бездротові комутатори сигналів і бездротові контролери, були вбудовані в запропоновану систему для встановлення прямого зв'язку між бездротовим детектором транспортного засобу і центральним центром обробки даних. Бездротові точки доступу приймають сигнали від різних давачів індукційної петлі і передають їх на відповідні комутатори. Після отримання сигналу кожен комутатор бездротовим способом передає ці дані центральному контролеру, який відіграє життєво важливу роль в системі, оскільки регулярно збирає дані, пов'язані з напрямком руху транспортних засобів по смугах, а потім передає ці дані в центр обробки даних для подальшого аналізу. Блок-схема

ІСДС показана на Рисунку 2.3. Система може ефективно надавати рішення для автомобілів швидкої допомоги, використовуючи інфрачервоні датчі з усіх напрямків у визначеному діапазоні. Датчар виявляє червоне світло відповідно до центрального контролера, який пересилає його в центр обробки даних для отримання необхідного рішення.

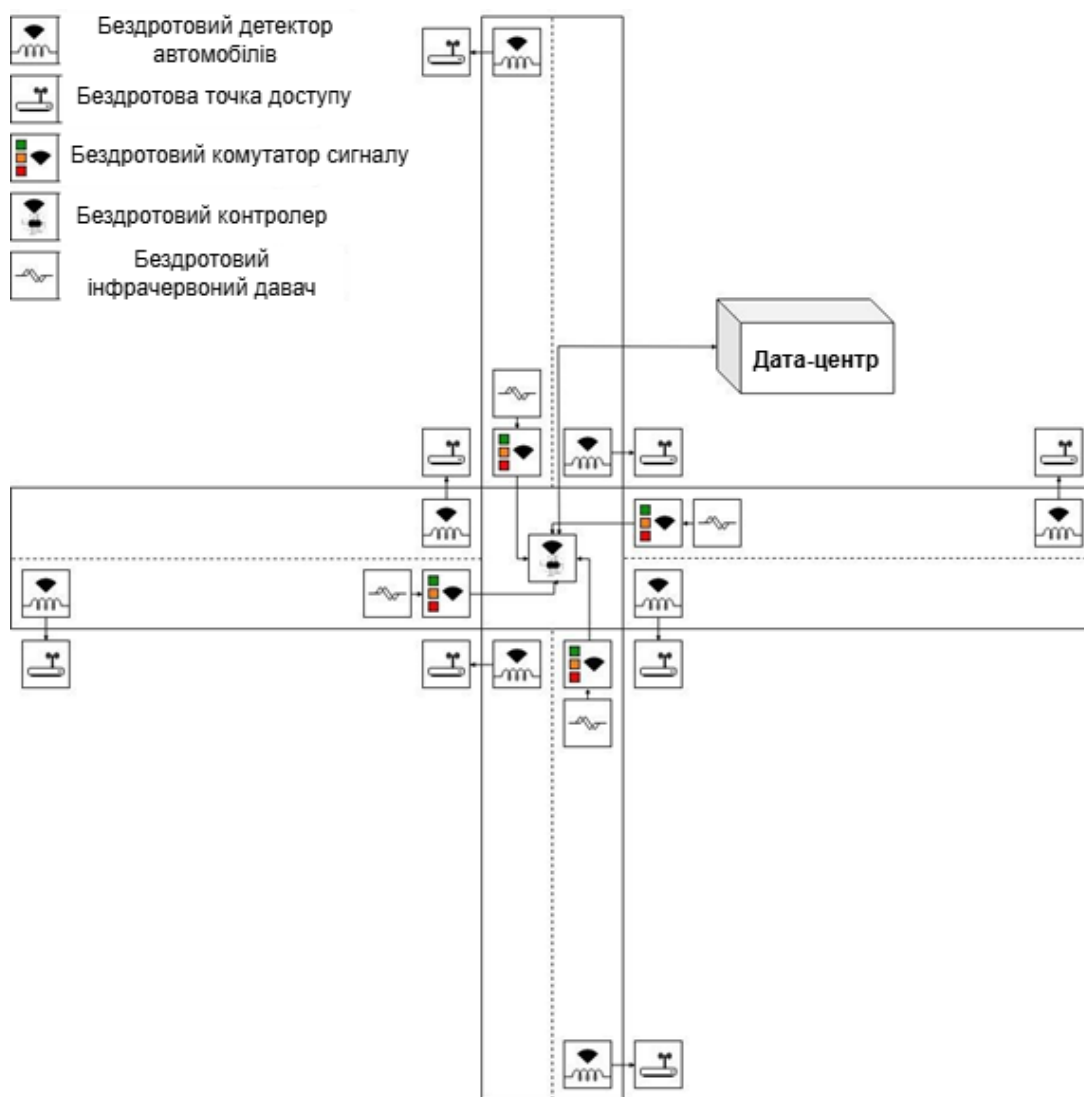


Рисунок 2.3 – Блок-схема ІСДС

З КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Мережа SUMO забезпечує точний опис підмножини карти, що має відношення до дорожнього руху, її доріг та перехресть, на яких імітуються транспортні засоби, що проїжджають вздовж або поперек доріг. Ця специфічна мережа є орієнтованим графом, вузли якого позначають перехрестя, а односпрямовані "ребра" представляють дороги. Ребро може бути набором дорожніх смуг і може містити інформацію про положення, форму та обмеження швидкості кожної смуги.

3.1 Побудова мережі та управління трафіком за допомогою ІСДС

Додатки SUMO, такі як Netconvert та Netgen, можуть значною мірою генерувати транспортні мережі шляхом імпорту цифрової карти доріг. Зокрема, Netconvert використовується для інтерпретації шляхом зчитування вхідних даних з нативних модулів, які є специфічними для SUMO і представлені у вигляді XML-прототипу графіка дорожньої мережі. Це забезпечує найвищий ступінь контролю для опису дорожньої мережі для симулятора SUMO. З іншого боку, що стосується Netgen, то абстрактні дорожні мережі використовують node.xml для створення вузлів, edge.xml для встановлення зв'язків і type.xml для встановлення властивостей. Крім того, можна створити транспортний потік і подати його як вхідні дані до Netconvert для створення файлу мережі, який потім може інтерпретувати SUMO.

Кожен транспортний засіб ідентифікується і явно визначається за допомогою унікального ідентифікатора, часу відправлення і маршрутів в мережі. Для кожного транспортного засобу встановлюється повний список ребер для всіх маршрутів між джерелами та пунктами призначення. Крім того, кожному транспортному засобу присвоюється тип з описом фізичних атрибутів транспортного засобу та змінних моделі руху користувача. Крім того, для кожного типу транспортного засобу зберігаються класи викидів забруднюючих речовин або шуму. Також визначаються такі атрибути, як зовнішній вигляд

транспортних засобів у змодельованому середовищі. На основі різних вимог до вхідних даних про транспортні засоби, пакет SUMO може динамічно масштабувати інформацію як для великих, так і для малих міст. Файл маршруту у форматі XML, тобто `rou.xml`, зберігає інформацію про маршрут, як зазначено. Завдяки налаштуванню та моделюванню мережі можна підтримувати різні завдання кастомізації, такі як візуалізація швидкості, часу очікування та відстеження окремих транспортних засобів. Файли мережі та маршрутів подаються на вхід мережі SUMO в рамках симуляції запропонованої моделі ІСДС з метою отримання відповідних результатів, як показано на Рисунку 3.1.

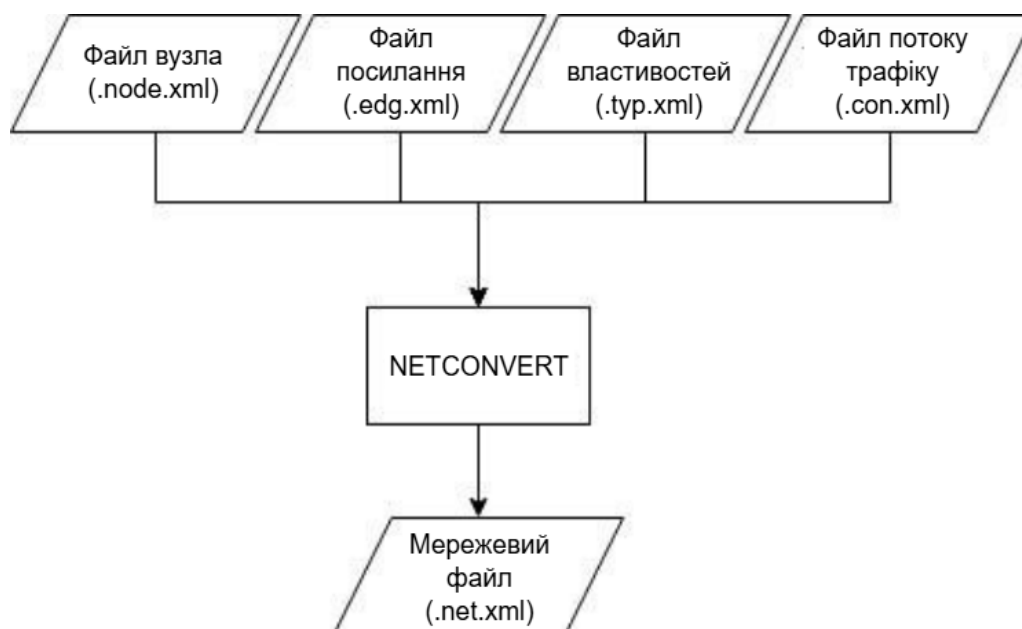


Рисунок 3.1 – Перетворення мережевого файлу за допомогою Netconvert.

3.2 Інтерфейс управління дорожнім рухом

Інтерфейс управління дорожнім рухом (Traci) використовується для доступу до симуляції дорожнього руху в бігових зонах і сприяє отриманню значень поведінки модельованих об'єктів в онлайн-режимі. Для забезпечення доступу до SUMO використовується архітектура клієнт/сервер на основі протоколу TCP. Таким чином, SUMO працює як сервер, використовуючи додаткові опції командного рядка, такі як `remote-port int`, де `int` вказує на порт SUMO і підтримує можливість прослуховування вхідних з'єднань. SUMO був

змушений виконати підготовку до симуляції і перебувати в режимі очікування, поки зовнішня програма не відповість і не отримає контроль над SUMO. Під час симуляції виконується сервер TraCI, доки клієнт не змусить симуляцію зупинитися.

Вузли та смуги зі створеними розв'язками задаються за допомогою Netconvert для моделювання через SUMO. На рисунку 3.2(а) представлено базовий скелет остаточної моделі, створеної за допомогою Netconvert, який складається з вузлів, доріжок і переходів для забезпечення безперебійної роботи. За допомогою Netconvert було зафіксовано положення індукційної петлі біля перехрестя для входних ребер. Крім того, на Рисунку 3.2(б) на відстані 100 м від перехрестя встановлено додаткову індукційну петлю для вихідних ребер. Нарешті, з'єднання смуг руху включені в розв'язку і підготовлені до моделювання за допомогою SUMO.

На рисунку 3.3(а) показано розміщення індукційних петель на відстані 100 м від перехрестя для вихідних смуг. Крім того, на рисунку 3.3(б) показано взаємозв'язок між усіма вісьмома смугами, на основі якого транспортні засоби рухаються через це перехрестя.

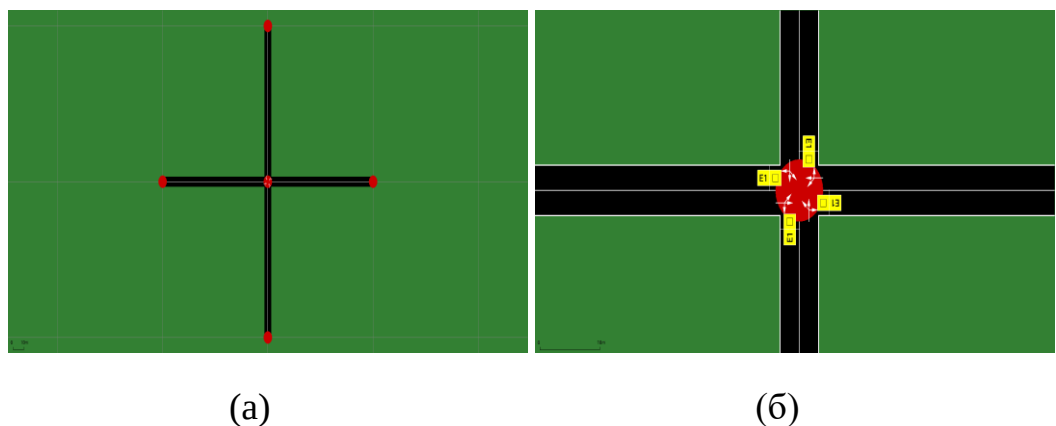


Рисунок 3.2 – (а) Представлення вузлів, шляхів та перетинів. (б) Додавання індукційної петлі біля перехрестя для входних ребер

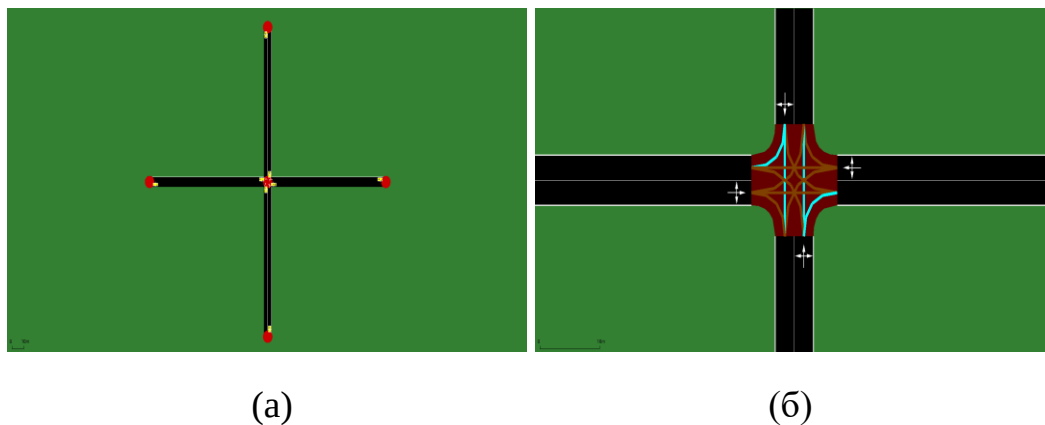


Рисунок 3.3 – (а) Додавання індукційної петлі на відстані 100 м від розв'язки для вихідних смуг. (б) З'єднання смуг руху між собою додано до розв'язки.

На Рисунку 3.4(а) показано початкову фазу моделювання, де всі чотири напрямки позначені червоним кольором, і на жодній смузі немає транспортних засобів. На рисунку 3.4(б) зображено проміжну фазу моделювання, де північний напрямок позначено зеленим кольором, а решта напрямків - червоним кольором. Завдяки цьому транспортні засоби, що наближаються з північного напрямку, можуть рухатися, тоді як транспортні засоби з інших напрямків змушені чекати своєї черги.

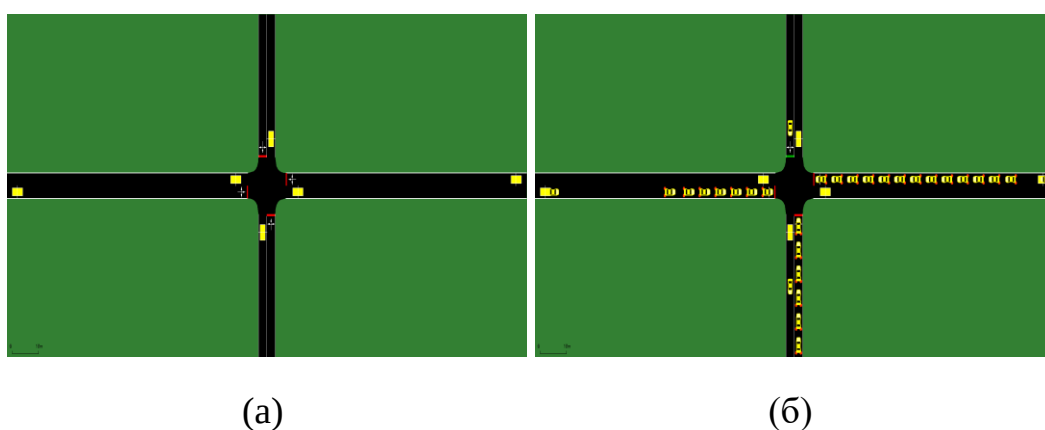


Рисунок 3.4 – (а) Початкова фаза моделювання з червоним кольором з усіх напрямків. (б) Проміжна фаза моделювання, де північ має зелений колір, а решта - червоний

Рисунок 3.5(а) відповідає проміжній фазі симуляції, де південний напрямок позначено помаранчевим кольором, а решта напрямків зображено червоним. На цій фазі всі транспортні засоби в південному напрямку починають сповільнюватися, коли бачать помаранчеве світло. Рисунок 3.5(б) демонструє можливості ІСДС щодо виявлення автомобілів екстреної допомоги. Через прибуття автомобіля швидкої допомоги з північного боку, модель ІСДС перемикає відповідний бік на зелений колір, доки автомобіль швидкої допомоги не перетне перехрестя. У той же час, решта напрямків автоматично зображуються червоним кольором, щоб змусити транспортні засоби зачекати.

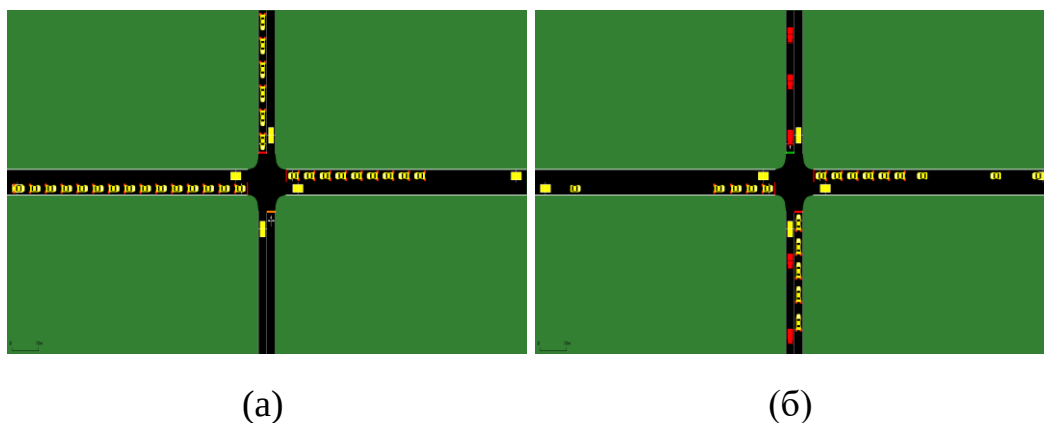


Рисунок 3.5 – (а) Проміжна фаза моделювання, де південь позначений помаранчевим кольором, а решта - червоним. (б) Фаза моделювання, де машина швидкої допомоги має зелений колір, а решта - червоний.

3.3 Реалізація системи

Реалізація системи передбачає поєднання апаратних та програмних складових для динамічного керування світлофорними циклами в міських транспортних мережах. Основою апаратної інфраструктури є індукційні петлі, вмонтовані в дорожнє покриття, та програмовані мікроконтролери, здатні вимірювати зміни індуктивності у режимі реального часу. Отримані дані про щільність транспортного потоку передаються до централізованого блоку управління світлофорами за допомогою бездротових технологій Інтернету речей (IoT).

Програмна складова системи включає алгоритми обробки сигналів від давачів, динамічне формування таймерів світлофорів та логіку пріоритетного пропуску екстрених служб. Налаштування параметрів роботи системи відбувається через спеціалізовані інтерфейси та інструменти моделювання (наприклад, SUMO), що дає змогу перевірити ефективність та коректність роботи системи в різних сценаріях руху.

У процесі розгортання система може бути адаптована під конкретні умови міської інфраструктури, враховуючи конфігурацію перехресть, характеристики дорожньої мережі та закономірності розподілу трафіку. Застосування моделювання мікроскопічного рівня дозволяє спрогнозувати вплив нових налаштувань на пропускну здатність мережі та своєчасно виявити потенційні вузькі місця. Таким чином, реалізація описаної інтелектуальної системи дорожньої сигналізації забезпечує адаптивне, масштабоване та ефективне керування міським транспортним потоком.

4 НАУКОВО ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Розглянемо математичне обґрунтування та алгоритмічне проектування ІСДС. Математичні формули, представлені в цьому розділі, були реалізовані в наступних алгоритмах.

4.1 Математичні передумови

Чутливість шлейфу визначається як найменша відсоткова зміна індуктивності на клемах сповіщувача, при якій сповіщувач спрацьовує безпомилково. Радіанна частота W означає кутове переміщення за одиницю часу. Один повний оберт вважається рівним 2π радіанів і може бути представлений як:

$$W = 2\pi f \quad (4.1)$$

Індуктивність L визначається як зміна магнітного поля навколо провідника, яка викликана зміною струму, що індукує в провіднику протидіючу електрорушійну силу [33]. Крім того, ємність C визначається як відношення заряду до потенціалу на електрично зарядженому та ізольованому провіднику [34]. Зв'язок між радіанною частотою W , частотою f , індуктивністю L та ємністю C резонансного контуру представлено у вигляді:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow W^2 = \frac{1}{LC} \quad (4.2)$$

Для виведення рівняння (4.3) були зроблені наступні припущення. L_0 - це індуктивність за відсутності транспортного засобу, тоді як L_V - це індуктивність за наявності транспортного засобу. Крім того, f_0 - резонансна частота, пов'язана з L_0 , а f_V - резонансна частота, пов'язана з L_V . Отже, $W_0 = 2\pi f_0$ і $W_V = 2\pi f_V$

В результаті, підставивши згадані параметри в рівняння (4.2), можна отримати наступне рівняння:

$$W_O^2 = \frac{1}{L_O C} \quad \text{and} \quad W_V^2 = \frac{1}{L_V C} \quad (4.3)$$

де W_O^2 - радіанна частота в початковому стані за відсутності транспортного засобу над індукційною петлею, а W_V^2 - радіанна частота на проміжному етапі. Крім того:

$$L_O = \frac{1}{C W_O^2} \quad \text{and} \quad L_V = \frac{1}{C W_V^2} \quad (4.4)$$

де L_O - індуктивність у початковому стані, коли над індукційним контуром немає транспортних засобів, а L_V - індуктивність на

проміжному етапі, коли над індукційним контуром є транспортні засоби. Нехай ΔL - це зміна величини індуктивності в індукційному контурі внаслідок присутності транспортних засобів. Отже, $\Delta L = L_O - L_V$

Підставивши значення L_O та L_V у рівняння (4.4), отримаємо наступне рівняння (5):

$$\frac{1}{C W_O^2} - \frac{1}{C W_V^2} \Rightarrow \frac{1}{C} \left(\frac{1}{W_O^2} - \frac{1}{W_V^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{C} \left(\frac{W_V^2 - W_O^2}{W_O^2 \times W_V^2} \right) \quad (4.5)$$

Чутливість контуру S - це відношення зміни індуктивності контуру (тобто ΔL) до початкової індуктивності (тобто L_O). Його можна записати як $\Delta L / L_O$ і представити у вигляді:

$$S = \frac{\Delta L}{L_O} = \frac{1}{L_O C} \left(\frac{W_V^2 - W_O^2}{W_O^2 \times W_V^2} \right) \quad (4.6)$$

Використовуючи параметр $1/L_O^C$ як W_O^2 , попереднє рівняння (4.6) можна переформулювати як:

$$S = W_O^2 \left(\frac{W_V^2 - W_O^2}{W_O^2 \times W_V^2} \right) = \frac{W_V^2 - W_O^2}{W_V^2} \quad (4.7)$$

Тоді ми можемо замінити W_V і W_O на $2\Pi f_V$, $2\Pi f_O$ і чутливість можна переписати як:

$$S = \frac{(2\Pi f_V)^2 - (2\Pi f_O)^2}{(2\Pi f_V)^2} = \frac{f_V^2 - f_O^2}{f_V^2} \quad (4.8)$$

Рівняння (8), після підстановки $f_O = f_V - \Delta f$, можна записати як:

$$S = \frac{f_V^2 - (f_V - \Delta f)^2}{f_V^2} \Rightarrow \frac{f_V^2 - (f_V^2 - 2\Delta f f_V + \Delta f^2)}{f_V^2} \Rightarrow \frac{2\Delta f}{f_V} - \frac{\Delta f^2}{f_V^2} \quad (4.9)$$

Значення індуктивності дорівнює :

$$PercentS = \left(\frac{2\Delta f}{f_V} - \frac{\Delta f^2}{f_V^2} \right) \times 100 \quad (4.10)$$

Нехтуючи $\Delta f^2 / f_V^2$ для малих змін частоти, рівняння (4.10) можна представити у вигляді:

$$PercentS = \frac{2\Delta f}{f_V} \times 100 \quad (4.11)$$

Це рівняння для чутливості до індуктивного зсуву має точність в межах 1% для індуктивного зсуву 4% або менше.

4.2 Запропоновані алгоритми

У цьому підрозділі запропоновано шість алгоритмів, які є компонентами запропонованої інтелектуальної системи управління дорожнім рухом (ІСДС). Зокрема, в додатку Б описано Алгоритм 1 має назву "Налаштування середовища" і визначає всі змінні та їхні значення за замовчуванням, які необхідні для попередньої обробки даних в ІТСР. "Транспортний засіб" - це складна структура даних, що складається з чотирьох об'єктів і містить три параметри. Перший параметр є константною змінною, яка зберігає напрямок руху конкретного об'єкта. Другий параметр - це список, який містить ідентифікатори всіх транспортних засобів, що проходять через індукційну петлю. Останній параметр використовується для зберігання загальної кількості транспортних засобів, присутніх у кожному напрямку перехрестя. "Emergency_vehicle" - це структура даних, подібна до "vehicle", але використовується для зберігання даних, пов'язаних з автомобілями швидкої допомоги.

Алгоритм 2 що наведено у додатку В називається "Виявлення транспортних засобів" і складається з кроків, які зберігають інформацію про кожен транспортний засіб, що проїжджає через індукційну петлю смуги руху. Ці дані складаються з багатьох параметрів, таких як унікальний ідентифікатор транспортного засобу для ідентифікації кожного транспортного засобу та напрямок його руху. Для кожного транспортного засобу, який обганяє інший, інформація про нього зберігається в ідеальній структурі. Більше того, ідеальна структура вказує на правильний формат, в якому зберігаються дані, отримані з давачів. Це реалізовано шляхом збільшення змінної ваги на одиницю. Якщо автомобіль екстреної допомоги присутній, то інфрачервоний давач виявляє його. Інформація про ідентифікатор автомобіля екстреної допомоги та загальну кількість автомобілів екстреної допомоги зберігається у відповідних структурах даних.

Алгоритм 3 наведений в додатку Г пов'язаний з "Перетворенням стану" і використовується для зміни значення аварійного прапорця на основі вагового

значення кожного напрямку, присутнього всередині "emergency_vehicle". Якщо інфрачервоний давач виявляє аварійний транспортний засіб, то його детальна інформація буде додана до "emergency_vehicle" за допомогою запропонованого Алгоритму виявлення транспортних засобів 2, а також буде збільшено його вагове значення. Якщо будь-яке з вагових значень буде більше нуля, то значення прапорця аварійної ситуації буде змінено з "False" на "True". У цьому алгоритмі обчислюється значення радіанної частоти.

Алгоритм 4 наведений в додатку Г під назвою "Перемикання сигналів" призначений для керування світлофором на перехресті на основі заданих параметрів. Спочатку перевіряється значення аварійного прапорця, і якщо це значення є істинним, то зберігається назва напрямку разом із загальною кількістю транспортних засобів, присутніх під час останнього зеленого сигналу світлофора. Крім того, зберігається поточна фаза сигналу для керування сигнальною системою. З іншого боку, якщо значення аварійного прапорця хибне, буде перевірено наявність транспортних засобів, присутніх на останньому зеленому напрямку. Якщо такі транспортні засоби є, сигнал світлофора буде зеленим для відповідного напрямку доти, доки всі транспортні засоби не перетнуть перехрестя. В іншому випадку перевіряється поточний напрямок руху транспортного засобу з найбільшою вагою, враховуючи ступінчастий прапорець, який використовується для запобігання ситуації "голодування". Далі буде визначено відповідний напрямок, і його світлофор загориться зеленим кольором на заданий часовий інтервал, згенерований алгоритмом. У цьому алгоритмі розраховуються значення індуктивності та ємності.

Алгоритм 5, що наведений у додатку Д називається "Евакуація транспортних засобів" і складається з усіх необхідних кроків, які усувають деталі кожного транспортного засобу, що проїжджає через індукційну петлю вихідної смуги. Інформація зберігається у відповідній структурі даних після оновлення змінної ваги для кожного транспортного засобу, що проїжджає. Наприклад, якщо над індукційною петлею виїзної смуги проїжджає транспортний засіб екстреної допомоги, петля визначить ідентифікатор

транспортного засобу екстреної допомоги. Після цього інформація буде видалена з відповідної структури даних, а загальна вага зменшиться на одиницю.

Алгоритм 6 з додатку Е стосується загальної реалізації ІСДС і починається, як тільки обробляється початковий час спостереження, і триває до завершення програми. Ця реалізація ІСДС використовується як рекурсивний процес, який повторюється кожен мілісекунду.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз результатів експериментів

Результати експерименту представлені в цьому розділі. Симуляція реалістичної моделі трафіку ІСДС має на меті динамічно керувати транспортною системою та надавати всі відповідні дані до віддаленого центру обробки даних для аналізу. З відповідним чином підібраними значеннями, запропоновані алгоритми імітували умови трафіку і порівнювали результати існуючих моделей з використанням фіксованої схеми управління. Через стохастичну природу управління дорожнім рухом було розглянуто кілька сценаріїв, щоб зробити його більш надійним. Під час моделювання були згенеровані та використані всі дванадцять наборів маршрутів транспортних засобів. Кількість транспортних засобів за одиницю часу змінювалася для кожного раунду моделювання під час порівняння ефективності. У цьому розділі представлено три сценарії, в яких модель була виконана 25 000 разів. Спостереження щодо стану дорожнього руху включали загальний час очікування, середній час у дорозі, середню швидкість, заповненість у відсотках транспортних засобів та кількість транспортних засобів, що проїжджають через перехрестя.

Розроблена модель ІСДС була порівняна з принципом роботи п'єзометричної світлофорної системи (ПСС) [23], яка підтримує традиційний підхід з фіксованою тривалістю циклу. Можна легко помітити, що запропонована модель ІСДС змінює фазові інтервали відповідно до транспортного навантаження, в той час як традиційна система залишається з однаковими фазовими інтервалами для кожного циклу. Запропонована модель ІСДС реалізована за допомогою скрипту на мові Python, який спочатку забезпечує вхідні дані для моделі SUMO, а також збирає дані для зберігання на віддаленому сервері; ці отримані дані представлені за допомогою різних графічних зображень. Кожному раунду симуляції передують параметри, що беруть участь у виконанні.

Під час моделювання використовувалися численні параметри, які, як було доведено, можуть впливати на загальну продуктивність розробленої ІТКС. Тому всі симуляції проводилися з урахуванням параметрів, наведених у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри моделювання для ІСДС

№.	Параметри моделювання (симуляції)
1	Vehicle_timestamp
2	Vehicle_angle
3	Vehicle_fuel
4	Vehicle_lane
5	Vehicle_noise
6	Vehicle_position
7	Vehicle_speed
8	Vehicle_waiting_time
9	Lane_speed_capacity
10	Lane_vehicle_capacity

5.2 Симуляція 1

Складна природа реального світу ускладнює прогнозування взаємозв'язків між різними змінними. Однак за допомогою моделювання можна дослідити ефективність різних значень кожного параметра, а моделювання всіх сценаріїв для кожної можливої комбінації значень параметрів, згенерованих за допомогою наявного обладнання та послідовного характеру поточного програмного забезпечення для моделювання трафіку SUMO, було б обчислювально недоцільним. Різні значення кожного параметра були порівняні з існуючою моделлю ІСДС, як показано в Таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Параметри симуляції 1

Параметр	Значення
Кількість кроків симуляції	480
Кількість транспортних засобів на смугу	30
Час до щільності транспортних засобів	<1
Діапазон швидкості транспорту	20 км/год до 60 км/год
Точка початку	100 м від перехрестя
Кількість кроків	25,000

У першій симуляції продуктивність моделі ІСДС було перевірено за допомогою 480 раундів, кожен з яких складався в середньому з 25 000 часових кроків. Середня кількість транспортних засобів на одній смузі в цій симуляції становила 30, а співвідношення часу до щільності транспортних засобів було менше 1.

Ця симуляція відображає реальні дорожні ситуації вранці, пізно ввечері та в інший час, коли на дорозі значно менше транспортних засобів. Різні параметри були перевірені за допомогою отриманих графіків, щоб порівняти моделі ІСДС та ПСС.

З Рисунок 5.1 видно, що при використанні моделі ІСДС транспортним засобам з усіх напрямків доводиться чекати менше часу, ніж при використанні моделі ПСС.

Аналогічно, більше транспортних засобів проїжджають через перехрестя за короткий час, а рівень завантаженості є мінімальним протягом більшої частини часу на перехресті з використанням моделі ІСДС.

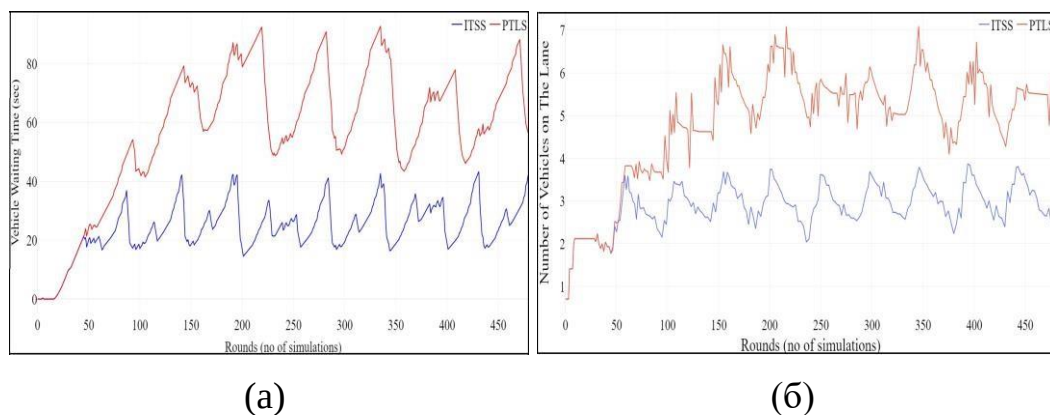


Рисунок 5.1 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах низької щільності: (а) середній час очікування транспортних засобів; (б) кількість транспортних засобів, що проїхали.

На Рисунку 5.2 показано різницю між результатами роботи моделей ІСДС та ПСС в умовах низької щільності, де транспортні засоби плавно перетинають перехрестя з більшою швидкістю, а також більшу частину часу середня швидкість руху транспортних засобів є більшою, ніж у моделі ПСС.

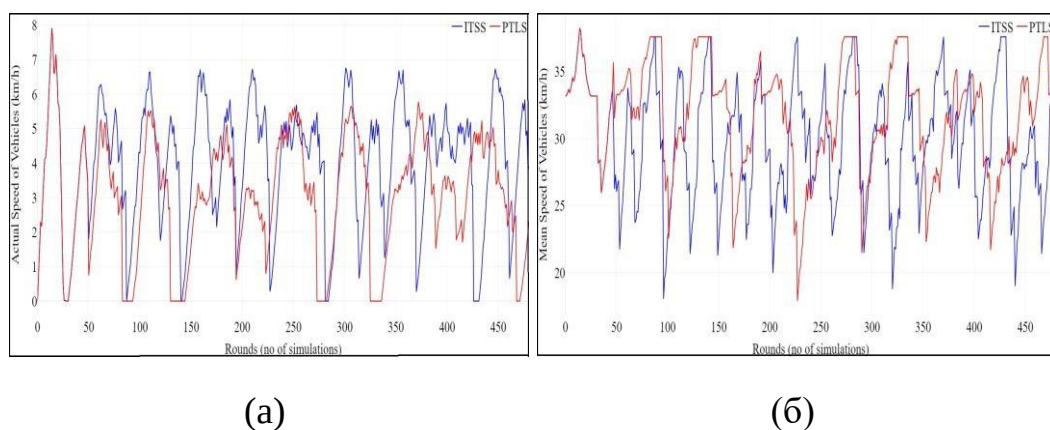


Рисунок 5.2 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах низької щільності: (а) фактична швидкість транспортних засобів; (б) середня швидкість транспортних засобів.

На рисунку 5.3 показано, що при використанні моделі ІСДС менший відсоток транспортних засобів зупинявся на перехресті, щоб уникнути заторів, порівняно з моделлю ПСС. Крім того, витрати часу на проїзд перехрестя були меншими, ніж у транспортних засобів, що використовували модель ПСС.

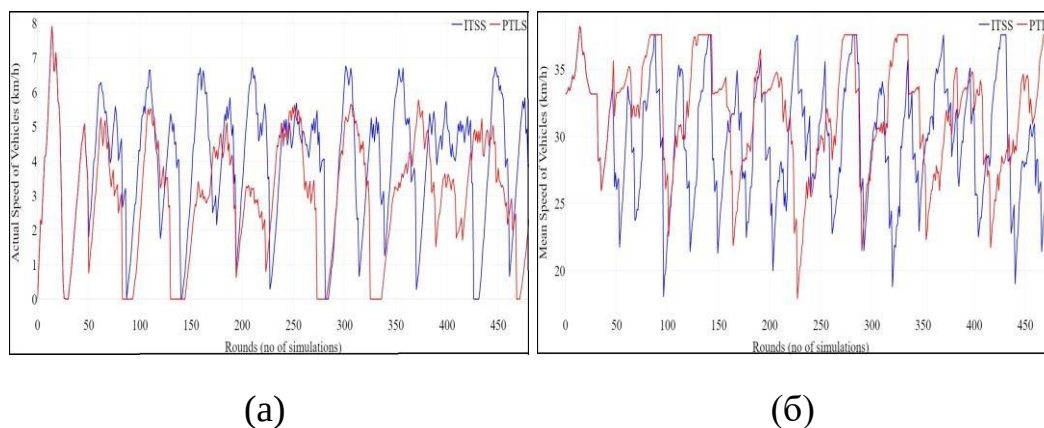


Рисунок 5.3 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах низької щільності: (а) відсоток заповнення транспортних засобів; (б) середній час у дорозі транспортних засобів.

5.3 Симуляція 2

При виконанні другої симуляції більшість параметрів залишилися незмінними порівняно з першою симуляцією, за винятком поля густини. Аналогічно, було виконано 480 раундів моделювання. Кожен результат моделювання є середнім значенням 25 000 часових кроків. Середня кількість транспортних засобів, що прибули на одну смугу, становила 60, а відношення часу до щільності транспортних засобів - 1. Ця симуляція відповідає часовому таргетуванню для уповільнення руху на дорозі, а отримані графіки показують, що ІСДС працювала краще, ніж ПСС для розглянутих параметрів.

Різні значення кожного параметру були порівняні з існуючою моделлю, як показано в Таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Параметри симуляції 2

Параметр	Значення
Кількість кроків симуляції	480
Кількість транспортних засобів на смугу	60
Час до щільності транспортних засобів	=1
Діапазон швидкості транспорту	20 км/год до 60 км/год
Точка початку	100 м від перехрестя
Кількість кроків	25,000

Середній час очікування в умовах середньої щільності був меншим, ніж у моделі ПСС, завдяки принципу динамічного управління дорожнім рухом. Таким чином, ІСДС надає перевагу, дозволяючи більшій кількості транспортних засобів проїхати через перехрестя. Рисунок 5.4 дає чітке уявлення про цей аспект через порівняння. Враховуючи ідею балансування навантаження, модель ІСДС надає можливість уникнути заторів, коли транспортному засобу не потрібно чекати більше часу і він може проїхати перехрестя з нормальною швидкістю.

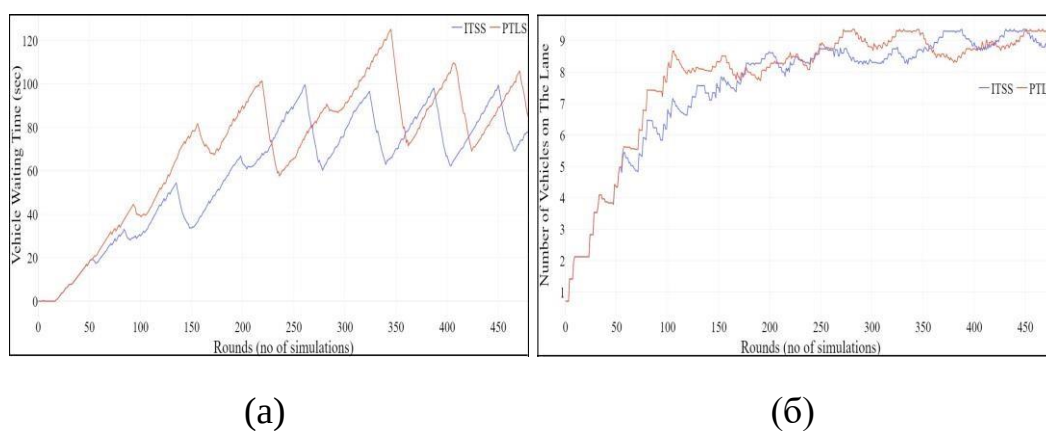


Рисунок 5.4 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах середньої щільності: (а) середній час очікування транспортних засобів; (б) кількість транспортних засобів, що проїхали.

Рисунок 5.5 ілюструє результати порівняння, де транспортні засоби рухалися на перехресті з більшою швидкістю, ніж транспортні засоби, що використовували модель ПСС. Аналогічно, середня швидкість транспортних засобів, що використовували ІСДС, була порівняно більшою, ніж при використанні моделі ПСС.

Оскільки транспортним засобам доводилося чекати менше часу, щоб перетнути перехрестя, можна зробити висновок, що вони займали менше місця біля перехрестя.

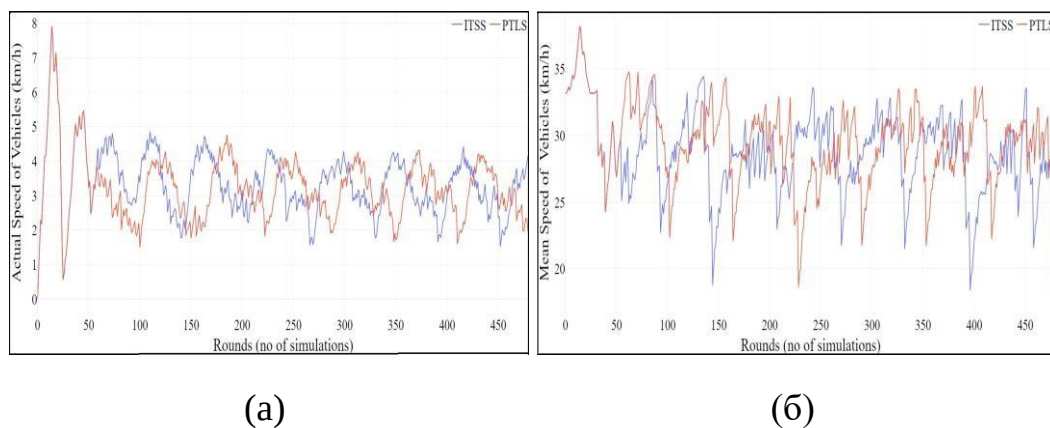


Рисунок 5.5 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах середньої щільності: (а) фактична швидкість транспортних засобів; (б) середня швидкість транспортних засобів.

З Рисунку 5.6 видно, що відсоток транспортних засобів, які стоять у черзі біля зупинки, є меншим, ніж кількість транспортних засобів при використанні моделі ПСС.

З цієї причини середній час у дорозі зменшився, що призвело до меншого споживання енергії. Більше того, цей рисунок дає гарне уявлення про те ж саме через порівняння обох ситуацій.

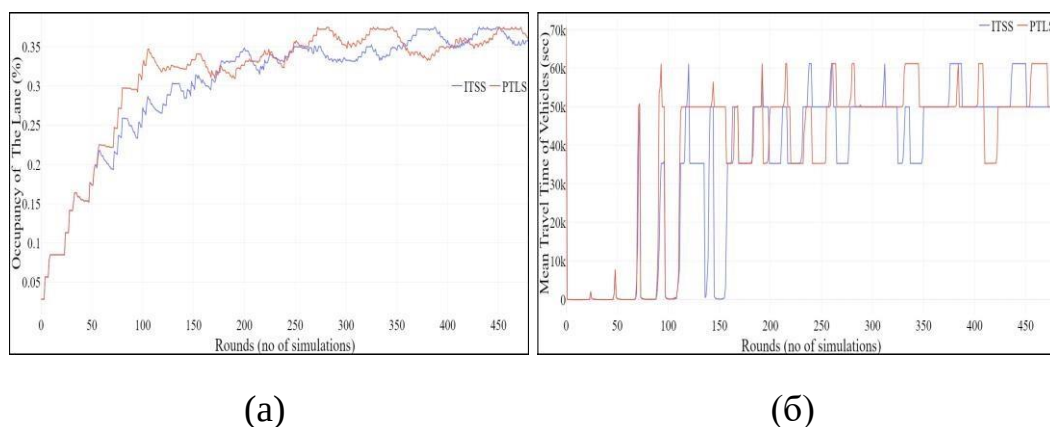


Рисунок 5.6 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах середньої щільності: (а) відсоток заповнення транспортних засобів; (б) середній час у дорозі транспортних засобів.

5.4 Симуляція 3

Третє моделювання було проведено для спостереження за роботою обох моделей в екстремальних ситуаціях перевантаження трафіку. Як і в інших симуляціях, для отримання результатів порівняння продуктивності запропонованої моделі ІСДС та ПСС було використано 480 раундів виконання, кожен з яких складався в середньому з 25 000 часових кроків. Середня кількість транспортних засобів на одній смузі в цій симуляції була встановлена на рівні 90 з відношенням часу до щільності транспортних засобів більше 1.

За винятком зміни щільності, всі інші значення параметрів залишалися такими ж, як і в двох попередніх симуляціях. У таблиці 5.3 наведено параметри для цієї третьої конфігурації.

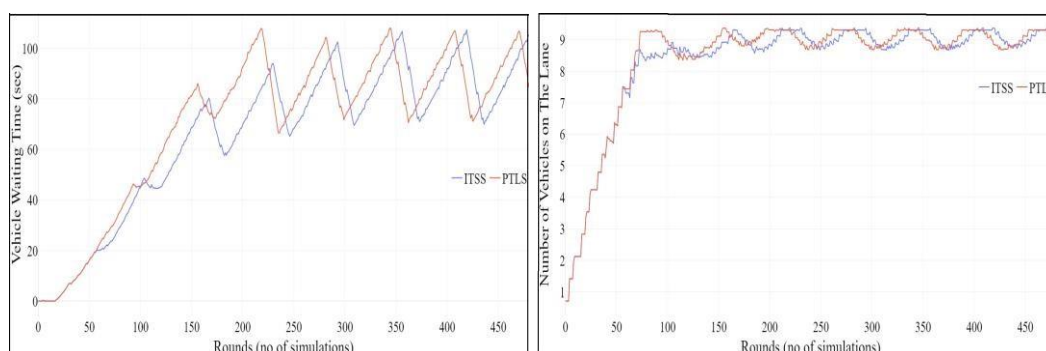
Середній час очікування транспортних засобів при високій щільності у випадку запропонованої моделі ІСДС був меншим, ніж у випадку моделі ПСС, оскільки принцип управління дорожнім рухом в ІСДС був реалізований динамічно. Завдяки цьому, ІСДС забезпечує рішення, яке дозволяє пропустити максимальну кількість транспортних засобів, що проїжджають через перехрестя.

З Рисунку 5.7 видно, що більшості транспортних засобів доводилося чекати менше часу, оскільки кількість транспортних засобів збільшувалася, і менша кількість транспортних засобів залишалася в смузі руху.

Завдяки фактору індуктивності, ІСДС забезпечує динамічну процедуру управління заторами і дозволяє транспортним засобам не затримуватися на перехресті на довший період часу, отже, вони можуть проїхати перехрестя з більшою швидкістю, ніж у моделі ПСС.

Таблиця 5.3 – Параметри симуляції 2

Параметр	Значення
Кількість кроків симуляції	480
Кількість транспортних засобів на смугу	90
Час до щільності транспортних засобів	>1
Діапазон швидкості транспорту	20 км/год до 60 км/год
Точка початку	100 м від перехрестя
Кількість кроків	25,000

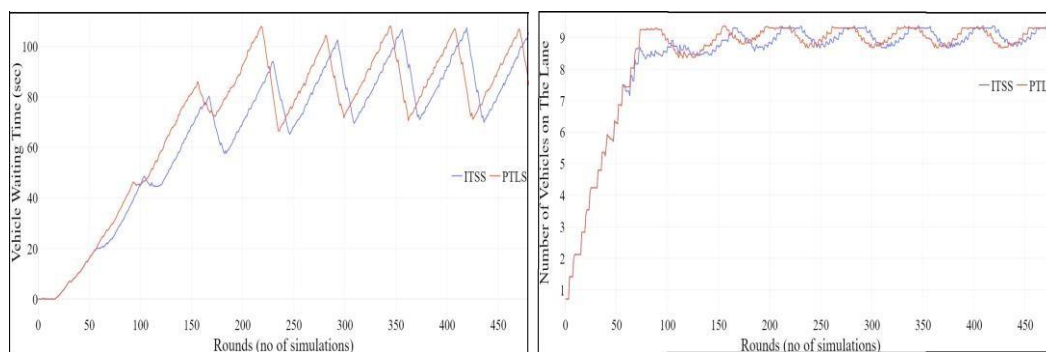


(a)

(б)

Рисунок 5.7 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах високої щільності: (а) середній час очікування транспортних засобів; (б) кількість пропущених транспортних засобів.

Рисунок 5.8 ілюструє результати порівняння транспортних засобів, які рухалися з більшою швидкістю в точці перехрестя у випадку використання моделі ІСДС, ніж транспортні засоби, які використовували модель ПСС. Незважаючи на те, що кількість транспортних засобів збільшилася, середня швидкість транспортних засобів, які використовували ІСДС, була порівняно більшою, ніж при використанні моделі ПСС, щоб уникнути затримок в обробці даних.

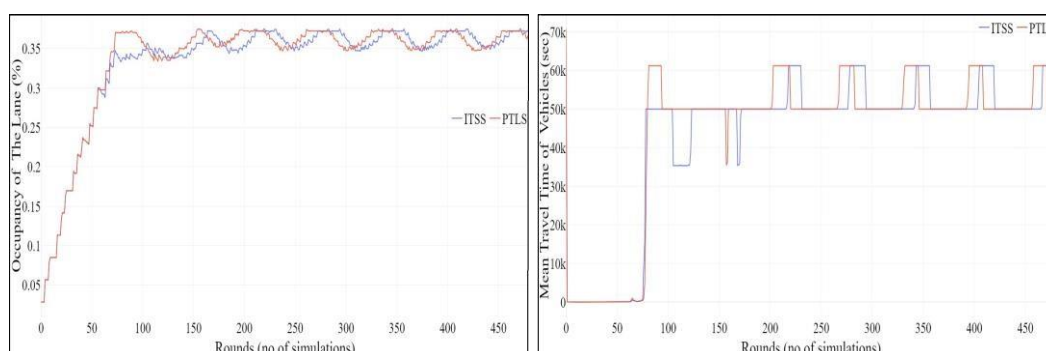


(a)

(б)

Рисунок 5.8 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах високої щільності: (а) фактична швидкість транспортних засобів; (б) середня швидкість транспортних засобів.

На Рисунку 5.9 ми бачимо, що збільшення щільності руху не вплинуло на пропускну здатність моделі ІСДС, і порівняно меншій кількості транспортних засобів довелося залишатися на смузі в очікуванні зеленого сигналу світлофора. Як наслідок, це доводить, що коефіцієнт заповнюваності є мінімальним в ІСДС порівняно з моделлю ПСС. Через вищезазначені фактори транспортні засоби витрачають більше часу на рух, ніж на очікування своєї черги. Крім того, цей рисунок показує, що при збільшенні кількості транспортних засобів час їхнього руху також збільшується без втрати часу на очікування зеленого світла, що максимізує пропускну здатність моделі ІСДС.



(a)

(б)

Рисунок 5.9 – Порівняльний графік між ІСДС та ПСС в умовах високої щільності: (а) відсоток заповнення транспортних засобів; (б) середній час у дорозі транспортних засобів.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Питання щодо охорони праці

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена розробці інтелектуальної системи керування дорожнім рухом на основі IoT, тому доцільно розглянути питання з вимог електробезпеки до приміщень з ЕОМ.

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до ГОСТ 12.1.009-76, НПАОП 40.1-1.07-01 “Правила експлуатації електрозахисних засобів”, НПАОП 40.1-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, НПАОП 40.1-1.32-01 “Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок”

З метою запобігання ушкодженням, що можуть статися через ураження електричним струмом, загоряння, коротке замикання тощо, розроблено загальний стандарт безпеки ІЕС 950. Загальним стандартом електробезпечності для країн Європейської співдружності є Cemark.

Під час проектування систем електропостачання, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень для ПЕОМ необхідно дотримуватись вимог вищеназваних нормативно-правових актів, Правил пожежної безпеки в Україні, ДСанПіН 3.3.2.007-98, що стосуються штучного освітлення і електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно-технічної і експлуатаційної документації заводу-виробника ПЕОМ [61].

ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за

ПУЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПУЕ.

У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних ЕОМ, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

ПЕОМ, периферійні пристрої ПЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і

електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ПЕОМ та периферійних пристроїв ПЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення ПЕОМ, периферійних пристроїв слід виконувати за магістральною схемою, по 3...6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В і мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПУЕ та Правил пожежної безпеки в Україні.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПЕОМ, периферійних пристроїв ПЕОМ при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 ПЕОМ, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПЕОМ при розташуванні їх у центрі приміщення, прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не дозволяється застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми та інші матеріали, що містять сірку. Відкрита прокладка кабелів під підлогою забороняється. Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98.

Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів..

6.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Комп'ютерне забезпечення процесу прогнозування можливої радіаційної обстановки передбачає: оцінку радіаційної обстановки. Під радіаційною обстановкою розуміють масштаби і ступінь р/а зараження місцевості, які впливають на бойові дії та боєздатність військ, роботу промислових об'єктів та життєдіяльність населення.

Під оцінкою радіаційної обстановки розуміють вирішення основних задач з різних варіантів дії військ у зонах зараження, аналіз отриманих результатів та вибір найкращих варіантів, при яких забезпечуються найменші радіаційні ураження [61].

Оцінка радіаційної обстановки здійснюється двома методами: метод прогнозування і проведення радіаційної розвідки.

Радіаційна обстановка залежить від потужності і виду вибуху, швидкості вітру, атмосферних опадів, характеру місцевості, часу з моменту вибуху.

За ступенем зараження і можливими наслідками зовнішнього опромінення особового складу військ на зараженій місцевості прийнято виділяти 4 зони:

- зону помірного (зона А),
- сильного (зона Б),
- небезпечного (зона В),
- зону надзвичайно небезпечного (зона Г) зараження.

За 40-60 хвилин до підходу хмари і початку випадіння опадів подають сигнал оповіщення "Загроза радіоактивного зараження". З моменту випадіння опадів подається сигнал "Радіаційне зараження".

Медичні засоби захисту – серед засобів захисту від зброї масового ураження особливе місце займає застосування засобів медичного призначення. Під терміном "засоби медичного захисту" розуміють засоби попередження, профілактики впливу на людину уражаючих факторів зброї масового ураження та засоби надання допомоги і лікування уражених. Одним з найважливіших

завдань медичної служби є своєчасне і повне забезпечення особового складу військ, частин та підрозділів медичної служби цими засобами.

Медичні засоби протирадіаційного захисту - радіопротектори (радіозахисні засоби) - це хімічні медикаментозні засоби синтетичного або біологічного походження, введення яких в організм перед його опроміненням, призводить до зменшення впливу іонізуючого випромінювання на радіочутливі тканини та прискоренням їх відновлення, що призводить до зниження ступеню важкості променевого ураження. Використання радіопротекторів після опромінення практичного ефекту не дає.

Підвищення радіорезистентності тканини досягається завдяки впливу препарату на первинні радіохімічні реакції або на механізми захисту організму, або ж на те і інше одночасно. Радіопротектори відносяться до найрізноманітніших класів хімічних сполук..

Мобільна радіологічна лабораторія (МРЛ) розташовується на борту обладнаного автомобіля і призначена для вирішення широкого кола завдань, пов'язаних з радіаційним моніторингом довкілля та радіаційно-небезпечних об'єктів, зокрема завдань оперативного радіаційного контролю транспортних магістралей, пошуку локальних джерел радіації, дистанційного визначення потужності дози, ідентифікації радіонуклідного складу та визначення активності радіаційного забруднення, а також проведення лабораторних досліджень на місці. Лабораторія може оснащуватися робототехнічним комплексом для пошуку, дослідження й вилучення небезпечних локальних джерел.

Мобільні лабораторії радіаційної розвідки призначені для проведення оперативної радіаційної розвідки в разі виникнення позаштатної ситуації радіаційного характеру, пошуку та визначення типу джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) з метою попередження виникнення або планування заходів із зменшення наслідків радіаційної аварії

У процесі роботи мобільних засобів використовуються методи дистанційного радіаційного моніторингу, які дають змогу визначати параметри

радіаційних полів на відстані, що є дуже важливим, коли прямий доступ до ДІВ ускладнений або небезпечний.

Особлива роль у запобіганні радіаційному тероризму й несанкціонованому переміщенню радіоактивних матеріалів територією контрольованого регіону відводиться мобільним засобам радіаційного контролю, що використовують методи спектрометричного дистанційного радіаційного моніторингу. В цьому разі функціонування мобільної лабораторії може здійснюватися в таких режимах:

Патрулювання. В даному режимі йде спостереження за переміщенням відомих джерел підвищеної радіації та пошук невідомих;

Активного пошуку. Якщо зафіксовано наявність підозрілого джерела радіації на території контрольованого району або отримано оперативну інформацію від правоохоронних органів про можливість його наявності, силами мобільних засобів робиться цілеспрямований пошук джерела радіації та його дистанційне дослідження;

Режимі затримання. На підставі отриманих даних правоохоронні органи проводять затримання підозрілих вантажів, транспортних засобів або людей, зокрема для проведення поглибленого радіаційного контролю — оперативно на місці затримання або в спеціально обладнаному пункті. Для цього правоохоронні органи мають бути забезпечені не лише необхідною для затримання інформацією, а й відповідним устаткуванням (спеціальними засобами контролю, які носять або возять із собою).

Експлуатація мобільних лабораторій у режимі затримання допоможе у боротьбі із загрозою ядерного тероризму: виявленні підготовки терористичного акту; боротьбі з контрабандою радіоактивних матеріалів та їх несанкціонованим переміщенням; виявленні радіоактивного забруднення внаслідок диверсії на ранніх стадіях та сповіщенні відповідних служб і населення; ліквідації наслідків терористичних актів.

ВИСНОВКИ

У цій роботі розглядаються транспортні мережі і пропонується модель ІСДС, розроблена для цього типу мереж. Зокрема, оскільки інтенсивність руху у великих містах світу продовжує зростати, технологічний прогрес та його застосування в управлінні дорожнім рухом набуває все більшого значення. Запропонована модель ІСДС призначає зелене світло відповідно до попиту на трафік і може бути використана для запобігання тупиків і непотрібного голодування через очікування транспортних засобів. Результати оцінки показують, що запропонована система ефективно використовує зелене світло, дозволяючи багатьом транспортним засобам проїхати перехрестя в кожному циклі. Крім того, запропонована модель ІСДС належним чином перемикає зелене світло між чотирма смугами, що зменшує час очікування транспортних засобів. Спеціальні функції, в тому числі пріоритет аварійних транспортних засобів, також розглядаються через запропоновану модель ІСДС з коротким часовим інтервалом реагування.

Розроблена модель дозволяє досліджувати ефективність різних параметрів трафіку, які були оптимізовані для ефективності та масштабованості. Були змодельовані різні сценарії трафіку для зменшення помилок незалежно від географічного розташування. Крім того, запропонована модель була оцінена в різних інших мережах, щоб продемонструвати її сумісність в різних транспортних середовищах. Модель ІСДС може ефективно працювати на односмугових дорогах, але може бути вдосконалена для роботи на дорогах з декількома смугами. Замість динамічної тривалості циклу генерації, в системі можна застосувати машинне навчання з використанням підходу глибоких нейронних мереж з метою значного покращення її продуктивності. За допомогою нейронних мереж можна передбачити тривалість циклу до досягнення перехрестя, яка потім буде передана транспортним засобам, що стоять на тій самій смузі, для зміни їхньої швидкості, щоб час очікування на перехресті знову зменшився. Нарешті, ми плануємо змодельовати параметри водійської поведінки за допомогою програмного

забезпечення для мікроскопічного моделювання VISSIM; це відстань зміни смуги руху, адитивна і мультиплікативна частини бажаної безпечної дистанції, кількість помічених попередніх транспортних засобів, рішення щодо жовтого сигналу світлофора і мінімальний інтервал руху [35].

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проаналізовано питання з вимог електробезпеки до приміщень з ЕОМ а також описано комп'ютерне забезпечення процесу прогнозування можливої радіаційної обстановки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 The Times of India. 53,700 Vehicles Registered Across Country Every Day. Доступно: <https://timesofindia.indiatimes.com/auto/miscellaneous/53700-vehicles-registered-across-country-every-day/articleshow/53747821.cms> (Доступно 2024).
- 2 Rahman, M.; Najaf, P.; Fields, M.G.; Thill, J.C. Traffic Congestion and its Urban Scale Factors: Empirical Evidence from American Urban Areas. *Int. J. Sustain. Transp.* 2022, 16, 406–421.
- 3 Afrin, T.; Yodo, N. A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability* 2020, 12, 4660.
- 4 Guzman, L.A.; Arellana, J.; Alvarez, V. Confronting Congestion in Urban Areas: Developing Sustainable Mobility Plans for Public and Private Organizations in Bogotá. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 2020, 134, 321–335.
- 5 Janahan, S.K.; Veeramanickam, M.; Arun, S.; Narayanan, K.; Anandan, R.; Parvez, S.J. IoT based Smart Traffic Signal Monitoring System using Vehicles Counts. *Int. J. Eng. Technol.* 2018, 7, 309–312.
- 6 Vishnu, V.C.M.; Rajalakshmi, M.; Nedunchezian, R. Intelligent Traffic Video Surveillance and Accident Detection System with Dynamic Traffic Signal Control. *Clust. Comput.* 2018, 21, 135–147.
- 7 Liu, Y.; Ding, Z.; Al-Dhahir, N.; Schober, R.; Dobre, O.A.; Karagiannidis, G.K.; Fan, P. Introduction to the Issue on Signal Processing Advances for Non-Orthogonal Multiple Access in Next Generation Wireless Networks. *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.* 2019, 13, 388–391.
- 8 Rakib, S.S. Remote Control for Wireless Control of System Including Home Gateway and Headend, Either or Both of Which Have Digital Video Recording Functionality. U.S. Patent No. 8,151,306, 3 April 2012.
- 9 Zhang, F.; Hu, X.; Langari, R.; Cao, D. Energy Management Strategies of Connected HEVs and PHEVs: Recent Progress and Outlook. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2019, 73, 235–256.

- 10 Lu, K.; Du, P.; Cao, J.; Zou, Q.; He, T.; Huang, W. A Novel Traffic Signal Split Approach based on Explicit Model Predictive Control. *Math. Comput. Simul.* 2019, 155, 105–114.
- 11 Zahid, M.; Chen, Y.; Jamal, A.; Mamadou, C.Z. Freeway Short-Term Travel Speed Prediction Based on Data Collection TimeHorizons: A Fast Forest Quantile Regression Approach. *Sustainability* 2020, 12, 646.
- 12 Zahid, M.; Chen, Y.; Jamal, A.; Memon, M.Q. Short Term Traffic State Prediction via Hyperparameter Optimization Based Classifiers. *Sensors* 2020, 20, 685.
- 13 Jamal, A.; Ijaz, M.; Almosageah, M.; Al-Ahmadi, H.M.; Zahid, M.; Ullah, I.; Mamlook, R.E.A. Implementing the Maximum Likelihood Method for Critical Gap Estimation under Heterogeneous Traffic Conditions. *Sustainability* 2022, 14, 15888.
- 14 Barthélemy, J.; Verstaevel, N.; Forehead, H.I.; Perez, P. Edge-Computing Video Analytics for Real-Time Traffic Monitoring in a Smart City. *Sensors* 2019, 19, 2048. [PubMed]
- 15 Ghazal, B.; ElKhatib, K.; Chahine, K.; Kherfan, M. Smart Traffic Light Control System. In *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications (EECEA)*, Beirut, Lebanon, 21–23 April 2016; pp. 140–145.
- 16 Mehboob, F.; Abbas, M.; Rauf, A.; Khan, S.A.; Jiang, R. Video Surveillance-Based Intelligent Traffic Management in Smart Cities. In *Intelligent Video Surveillance*; IntechOpen: London, UK, 2019; p. 19.
- 17 Muthuramalingam, S.; Bharathi, A.; Kumar, S.R.; Gayathri, N.; Sathiyaraj, R.; Balamurugan, B. IoT Based Intelligent Transportation System (IoT-ITS) for Global Perspective: A Case Study. In *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation*; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 279–300.
- 18 Sahil.; Sood, S.K. Smart Vehicular Traffic Management: An Edge Cloud Centric IoT based Framework. *Internet Things* 2021, 14, 100140.

- 19 Younes, M.B.; Boukerche, A. An Efficient Dynamic Traffic Light Scheduling Algorithm Considering Emergency Vehicles for Intelligent Transportation Systems. *Wirel. Netw.* 2018, 24, 2451–2463.
- 20 Kong, F.; Zhou, Y.; Chen, G. Multimedia Data Fusion Method based on Wireless Sensor Network in Intelligent Transportation System. *Multimed. Tools Appl.* 2020, 79, 35195–35207.
- 21 Ibáñez, J.A.G.; Zeadally, S.; Contreras-Castillo, J. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems. *Sensors* 2018, 18, 1212.
- 22 Prakash, O.; Aggarwal, M.; Vishvesha, A.; Kumar, B. Traffic Detection System Using Android. *J. Adv. Comput. Commun. Technol.* 2015, 3, 56–60.
- 23 Sharma, S.; Mohan, S. Cloud-Based Secured VANET with Advanced Resource Management and IoV Applications. In *Connected Vehicles in the Internet of Things*; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 309–325.
- 24 Joyce, M.J.; Erb, J.D.; Sampson, B.A.; Moen, R.A. Detection of Coarse Woody Debris using Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR). *For. Ecol. Manag.* 2019, 433, 678–689.
- 25 Jamal, A.; Al-Ahmadi, H.M.; Butt, F.M.; Iqbal, M.; Almoshaogeh, M.; Ali, S. Metaheuristics for Traffic Control and Optimization: Current Challenges and Prospects. In *Search Algorithm—Essence of Optimization*; IntechOpen: London, UK, 2021.
- 26 Jalili, S.; Nallaperuma, S.; Keedwell, E.C.; Dawn, A.; Oakes-Ash, L. Application of Metaheuristics for Signal Optimisation in Transportation Networks: A Comprehensive Survey. *Swarm Evol. Comput.* 2021, 63, 100865.
- 27 Al-Turki, M.; Jamal, A.; Al-Ahmadi, H.M.; Al-Sughaiyer, M.A.; Zahid, M. On the Potential Impacts of Smart Traffic Control for Delay, Fuel Energy Consumption, and Emissions: An NSGA-II-Based Optimization Case Study from Dhahran, Saudi Arabia. *Sustainability* 2020, 12, 7394.
- 28 Jia, H.; Lin, Y.; Luo, Q.; Li, Y.; Miao, H. Multi-objective optimization of urban road intersection signal timing based on particle swarm optimization algorithm. *Adv. Mech. Eng.* 2019, 11, 1687814019842498.

29 Frank, A.; Aamri, Y.S.K.A.; Zayegh, A. IoT based Smart Traffic density Control using Image Processing. In Proceedings of the 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), Muscat, Oman, 15–16 January 2019; pp. 1–4.

30 Al-Turjman, F.; Poncha, L.J. Intelligence, Security, and Vehicular Sensor Networks in Internet of Things (IoT)-enabled Smart-Cities: An Overview. *Comput. Electr. Eng.* 2020, 87, 106776.

31 Behrisch, M.; Bieker, L.; Erdmann, J.; Krajzewicz, D. SUMO—Simulation of Urban MObility: An Overview. In Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL), Barcelona, Spain, 23–28 October 2011.

32 McLyman, C.W.T. *Transformer and Inductor Design Handbook*, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2004.

33 Pizzo, F.P. *Magnetic Loop Detectors in Traffic Engineering Studies*. Ph.D. Thesis, The Ohio State University, Columbus, OH, USA, 1978.

34 Westerlund, S.; Ekstam, L. Capacitor theory. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 1994, 1, 826–839.

35 Al-Ahmadi, H.M.; Jamal, A.; Reza, I.; Assi, K.J.; Ahmed, S.A. Using Microscopic Simulation-Based Analysis to Model Driving Behavior: A Case Study of Khobar-Dammam in Saudi Arabia. *Sustainability* 2019, 11, 3018.

36 Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» — Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 — 384 с

37 Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

ДОДАТКИ

Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник тез доповідей

**XIII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
11-12 грудня 2024 року



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2024**

УДК 629.735.33.

Станько А.А., докт. філософії, Дудирев Д.Ю., Козачок М.В.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ НА ОСНОВІ ІОТ

Stanko A.A. Ph.D, Dudyrev D.Y., Kozachok M.V.

INTELLIGENT TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM BASED ON IOT

Використання приватних транспортних засобів, що збільшилося за останні кілька років завдяки розвитку технологій та способу життя громадян, спричиняє складний дорожній рух як у містах, так і в сільській місцевості в усьому світі. Величезний трафік призводить до забруднення навколишнього середовища, неминучих аварій і втрати часу через затори та затори [1,2]. В останні роки концепція Інтернету речей (IoT) пропонує відмінне автоматизоване рішення для всіх основних застосувань. Ця технологія забезпечує ефективну систему управління дорожнім рухом за допомогою автоматизованого відстеження, моніторингу, обробки та управління [3]. Розглянемо різноманітність інтелектуальних систем управління дорожнім рухом, розроблених на основі Інтернету речей для зменшення заторів на дорогах [4].

За останні кілька років міський рух стає все більш складним і переповненим через популярність і використання приватних транспортних засобів серед населення в усьому світі. Це призводить до величезних заторів у години пік, а також підкреслює важливість ефективної системи управління дорожнім рухом, щоб уникнути небажаних аварій, забруднення навколишнього середовища, втрат часу тощо [2, 3]. Інтернет речей (IoT) використовується для інтелектуального управління дорожнім рухом завдяки вдосконаленню передачі даних через Інтернет, використанню хмарних технологій та відповідному моніторингу з використанням різних методологій машинного навчання [5].

Ефективна система управління дорожнім рухом допоможе зменшити напруженість у дорожньому русі серед усіх категорій цивільного населення [1, 4], а саме:

- Водії транспортних засобів
- Люди похилого віку
- Швидка допомога (надзвичайна ситуація)
- Транспортні послуги

Основні переваги використання Інтернету речей для інтелектуального управління дорожнім рухом [3, 5]:

- Зменшення транспортного тиску серед цивільного населення
- Динамічна інформація про дорожній рух для мандрівників
- Оптимізований маршрут для досягнення місця призначення
- Висока надійність
- Безпека руху
- Керування дорожнім рухом та рішення, що не залежать від погодних умов.

Такі інтелектуальні системи управління дорожнім рухом на основі Інтернету речей ведуть до розумного управління містом у майбутньому [4]. Система IoT включає в себе всі деталі елементів дорожнього руху, таких як мости, дороги, тунелі, світлофори, транспортні засоби, водії за допомогою гаджетів тощо. Всі елементи підключені до інтернету для ефективного управління транспортною системою в усьому місті. Це включає в себе ефективний збір інформації про дорожній рух, відповідну обробку, аналіз різних умов і категорій великої кількості інформації про дорожній рух у переповненому районі, що призводить до сучасного управління дорожнім рухом. Дослідникам варто детально розглянути різні інтелектуальні системи управління дорожнім рухом на основі Інтернету речей, їх переваги та обмеження, а також перспективи на майбутнє.

Інтелектуальні системи управління трафіком на основі Інтернету речей можна розділити на три категорії, як показано на рисунку 1:



Рисунок 1. Категорії інтелектуальних систем управління трафіком

Система моніторингу дорожнього руху: моніторинг дорожнього руху є одним з головних чинників розумної або інтелектуальної системи управління дорожнім рухом. Він має справу з комунікацією між транспортними засобами та між транспортними засобами та різними інфраструктурними комунікаціями для підвищення доступності дорожніх шляхів для користувачів замість будівництва нових доріг, які потребують значних фінансових витрат з боку уряду на будівництво та обслуговування.

Пішохідний перехід: одним з основних аспектів інтелектуальної системи управління дорожнім рухом є ефективний моніторинг пішохідних переходів, щоб зменшити напруженість дорожнього руху в міських районах, а також допомогти людям похилого віку самостійно переходити головні дороги без сторонньої допомоги. Існує кілька досліджень, спрямованих на впровадження ефективного управління пішохідними переходами за допомогою Інтернету речей.

Аварійний дозвіл: життя є безцінним у цьому світі. Для автомобілів екстреної допомоги, таких як карета швидкої допомоги, є справжнім викликом перетнути бурхливий трафік, щоб дістатися до лікарні і врятувати життя пацієнта в переповнених міських районах. Це призводить до багатьох досліджень, щоб прокласти оптимальний шлях до швидкої допомоги під час надзвичайних ситуацій, коли поліцейські машини, пожежні бригади потрапляють у переповнені транспортні потоки. Ручне управління або заздалегідь визначені таймери на світлофорі не зможуть забезпечити пропуск автомобілів швидкої допомоги, якщо вони перебувають у щільному транспортному потоці. Це призводить до автоматизованої системи очищення аварійних транспортних засобів для інтелектуального управління дорожнім рухом. Ця система працює з RFID-міткою, яка встановлюється на приладовій панелі автомобіля під час виробництва. На основі зчитування RFID-мітки система пріоритизує транспортний засіб і надає окремий шлях для екстреної допомоги, щоб без затримок проїхати ділянки з інтенсивним рухом, щоб вчасно прибути до місця призначення і уникнути втрат.

Висновок. Ця робота дає огляд інтелектуальної системи дорожнього руху на основі Інтернету речей (IoT), її переваг та обмежень щодо аналізу заторів на дорогах, пішохідних переходів та наявності вільного шляху для автомобілів екстрених служб у містах в режимі реального часу, а також її майбутнього вдосконалення в напрямку інтелектуальних правил дорожнього руху та систем оповіщення для транспортних засобів у «розумних» містах.

Література

1. Ahmed, A., & Hassan, S. (2020). Intelligent traffic management systems using IoT. IEEE Access, 8, 120673-120689. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004567>
2. Lee, J., Kim, H., & Park, K. (2021). IoT-based traffic management solutions: Opportunities and challenges. Sensors, 21(3), 765. <https://doi.org/10.3390/s21030765>
3. Singh, R., & Sharma, D. (2022). IoT-enabled smart traffic systems: A systematic review and analysis. Journal of Urban Computing, 9(2), 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.juc.2022.01.003>
4. Patel, R., & Mehta, K. (2020). Dynamic traffic flow optimization using IoT: A case study. Future Internet, 12(5), 89. <https://doi.org/10.3390/fi12050089>
5. Kumar, P., & Gupta, V. (2021). IoT-integrated traffic management and monitoring: Advances and future directions. Computers and Electrical Engineering, 97, 107524. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107524>

Алгоритм 1 "Налаштування середовища"

```
1: procedure INITIALIZE_ENVIRONMENT
2:   vehicle = [ {"direction": "north", "v_list": nv_list, "weight": ni},
3:               {"direction": "east", "v_list": ev_list, "weight": ei},
4:               {"direction": "south", "v_list": sv_list, "weight": si},
5:               {"direction": "west", "v_list": wv_list, "weight": wi} ]
6:   emergency_vehicle = [ {"direction": "north", "ev_list": nve_list, "weight": ni},
7:                          {"direction": "east", "ev_list": eve_list, "weight": eie},
8:                          {"direction": "south", "ev_list": sve_list, "weight": sie},
9:                          {"direction": "west", "ev_list": wve_list, "weight": wie} ]
10:  nv_list = ev_list = sv_list = wv_list = [ ]
11:  ni = ei = si = wi = 0
12:  nve_list = eve_list = sve_list = wve_list = [ ]
13:  nie = eie = sie = wie = 0
14:  ev_flag = direction_flag = False
15:  initTime = 100
16: end procedure
```


Алгоритм 2 "Виявлення транспортних засобів".

```

1: procedure VEHICLE_DETECTION(vehicle, emergency_vehicle)
2:   for all v_id  $\leftarrow$  input_induction_loop do
3:     for all obj  $\leftarrow$  vehicle do
4:       for all direction  $\leftarrow$  obj do
5:         vehicle[direction].[v_list].push(v_id)
6:       end for
7:       for all v_id  $\leftarrow$  vehicle[obj].[v_list] do
8:         vehicle[obj].[weight] = vehicle[obj].[weight] + 1
9:       end for
10:    end for
11:    for all v_id  $\leftarrow$  infrared_sensor do
12:      if v_id == emergency_v_id then
13:        for all obj  $\leftarrow$  emergency_vehicle do
14:          for all direction  $\leftarrow$  obj do
15:            emergency_vehicle[direction].[v_list].push(emergency_v_id)
16:          end for
17:          for all emergency_v_id  $\leftarrow$  emergency_vehicle[obj].[ev_list] do
18:            emergency_vehicle[obj].[weight] =
19:              emergency_vehicle[obj].[weight] + 1
20:          end for
21:        end if
22:      end for
23:    end for
24: end procedure

```

Алгоритм 3 "Перетворення стану".

```
1: procedure FLAG_CONVERSION(emergency_vehicle, ev_flag)
2:   for all obj  $\leftarrow$  emergency_vehicle do
3:     for all direction  $\leftarrow$  obj do
4:       if emergency_vehicle[direction].[weight] > 0 then
5:         ev_flag = True
6:       else
7:         ev_flag = False
8:       end if
9:     end for
10:  end for
11: end procedure
```

Алгоритм 4 " Перемикання сигналів".

```
1: procedure SIGNAL_SWITCHING(vehicle, emergency_vehicle, ev_flag)
2:   if ev_flag = True then
3:     last_green_direction  $\leftarrow$  current_green_direction
4:     last_green_direction_weight  $\leftarrow$  current_green_direction_weight
5:     direction  $\leftarrow$  current_emergency_vehicle_direction
6:     phase  $\leftarrow$  getPhaseFromDirection (direction)
7:     Switch_Green_Light (phase)
8:   else
9:     if last_green_direction_weight > 0 then
10:      direction  $\leftarrow$  last_green_direction
11:      phase  $\leftarrow$  getPhaseFromDirection (direction)
12:      Switch_Green_Light (phase)
13:    else
14:      direction_flag  $\leftarrow$  updateDirectionFlag (direction_flag)
15:      direction  $\leftarrow$  getHighestWeight (vehicle, direction_flag)
16:      phase  $\leftarrow$  getPhaseFromDirection (direction)
17:      Switch_Green_Light (phase)
18:    end if
19:  end if
20: end procedure
```

Алгоритм 5 "Евакуація транспортних засобів".

```

1: procedure VEHICLE_REMOVAL(vehicle, emergency_vehicle)
2:   for all v_id  $\leftarrow$  output_induction_loop do
3:     for all obj  $\leftarrow$  vehicle do
4:       for all direction  $\leftarrow$  obj do
5:         vehicle[direction].[v_list].pop(v_id)
6:       end for
7:       for all v_id  $\leftarrow$  vehicle[obj].[v_list] do
8:         vehicle[obj].[weight] = vehicle[obj].[weight] + 1
9:       end for
10:    end for
11:    if v_id == emergency_v_id then
12:      for all obj  $\leftarrow$  emergency_vehicle do
13:        for all direction  $\leftarrow$  obj do
14:          emergency_vehicle[direction].[v_list].pop(emergency_v_id)
15:        end for
16:        for all emergency_v_id  $\leftarrow$  emergency_vehicle[obj].[ev_list] do
17:          emergency_vehicle[obj].[weight] = emergency_vehicle[obj].[weight] +
18:          1
19:        end for
20:      end for
21:    end if
22:  end for
23: end procedure

```


Алгоритм 6 "Загальна реалізація ІСДС ".

```
1: Initialize_Environment
2: while step > initTime do
3:   Vehicle_Detection (vehicle, emergency_vehicle)
4:   Flag_Conversion (emergency_vehicle, ev_flag)
5:   Signal_Switching (vehicle, emergency_vehicle, ev_flag)
6:   Vehicle_Removal (vehicle, emergency_vehicle)
7: end while
```

**"Порівняльне дослідження існуючих підходів до
світлофорної сигналізації на основі різних ознак"**

Підхід	Визначення щільності транспортних засобів	Визначення кількості транспортних засобів	Час очікування окремого транспортного засобу	Виявлення аварійних транспортних засобів	Пріоритизація аварійного транспорту	Безпечна система
Система керування розумним трафіком [15]	НІ	НІ	НІ	НІ	НІ	НІ
Відеоспостереження для керування трафіком [16]	НІ	ТАК	НІ	ТАК	НІ	НІ
Система керування світлофорами на основі п'єзоелементів [17]	НІ	ТАК	НІ	НІ	НІ	НІ
Інформаційна система для трафіку на основі LDR [18]	НІ	НІ	НІ	ТАК	ТАК	НІ
Керування світлофорами за допомогою ультразвукових сенсорів [19]	ТАК	ТАК	НІ	НІ	НІ	НІ
Керування світлофорами з використанням WSN [20]	НІ	ТАК	НІ	ТАК	НІ	ТАК
Ідентифікація транспортних засобів за розпізнаванням номерів [21]	ТАК	ТАК	НІ	НІ	НІ	НІ
Система виявлення трафіку на основі Android [22]	НІ	ТАК	ТАК	НІ	НІ	НІ
Відеоспостереження для керування трафіком на основі обробки зображень [23]	НІ	ТАК	НІ	ТАК	НІ	НІ
Керування світлофорами з використанням LIDAR [24]	ТАК	НІ	НІ	ТАК	НІ	НІ
Інтелектуальна система сигналізації для трафіку (ITSS)	ТАК	ТАК	ТАК	ТАК	ТАК	ТАК